



La réception de la théorie de la relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes

Michel Paty

► To cite this version:

Michel Paty. La réception de la théorie de la relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes. Archives internationales d'histoire des sciences, Académie internationale d'histoire des sciences, 1999, pp.331-368. <halshs-00170470>

HAL Id: halshs-00170470

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00170470>

Submitted on 7 Sep 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La réception de la théorie de la relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes*

par

Michel PATY**

RESUME.

La réception de la théorie de la relativité s'est effectuée au Brésil au début des années 1920 et fut, comme en beaucoup d'autres endroits dans le monde, l'objet de débats scientifiques et philosophiques, chez les universitaires comme dans le public. Ces débats marquèrent la constitution d'une Académie des sciences, et jouèrent un rôle important dans la constitution d'une communauté scientifique tournée vers la recherche scientifique. Les circonstances de cette réception furent marquées par deux événements significatifs qui sont analysés ici : la réalisation à Sobral, dans le Nordeste du Brésil, de l'une des deux observations de l'éclipse de 1919, faites sous la direction d'Eddington, pour vérifier la prédiction de la théorie de relativité générale sur la courbure des rayons lumineux passant au voisinage du Soleil ; et le voyage d'Einstein en Amérique du Sud en 1925, son séjour au Brésil et sa rencontre avec les scientifiques brésiliens. Puis nous examinons la réception des nouvelles conceptions physiques, par les textes publiés et les contenus scientifiques en jeu. Elle est instructive de l'état de la communauté scientifique du pays à l'époque, des tendances d'une tradition scientifique locale en formation et des rapports d'influence entretenus avec les traditions des pays européens, en particulier la «tradition française».

ABSTRACT. *The reception of the theory of relativity in Brazil and the influence of European scientific traditions.*

The reception of the theory of relativity, that took place in Brazil in the beginning of the twenties, has been, as in many others places in the world, an argument for scientific and philosophical debates at academic level as well as in the public. These debates constituted a mark with respect to the installation of an Academy of sciences, and played an important role in the constitution of a scientific community concerned with scientific research. The circumstances of this reception were coined by two

* Ce travail a été entrepris dans le cadre d'une collaboration franco-brésilienne en histoire et philosophie des sciences. Il a fait l'objet d'une publication en langue portugaise, sous le titre "A recepção da Relatividade no Brasil e a influência das tradições científicas europeias", trad. en Portugais (Brésil) par Ana Maria Alves, dans l'ouvrage collectif : Hamburger, Amelia Imperio ; Dantes, Maria Amelia ; Paty, Michel & Petitjean, Patrick (eds.), *A ciência nas relações Brasil-França.(1850-1950)*, EDUSP, São Paulo, 1997 (p. 143-181).

** Equipe REHSEIS (UMR 7596), CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, 37 rue Jacob, F-75006 Paris. Courrier-él. : paty@paris7.jussieu.fr

significant events that are analyzed here : the realization at Sobral, in the North-East of Brazil, of one of the two observations of the 1919 eclipse, performed under the direction of Eddington, in order to verify the prediction of the general relativity theory on the bending of light rays passing in the vicinity of the Sun ; and Einstein's journey to South America in 1925, his stay in Brazil and its encounter with Brazilian scientists. Then we examine the reception of the new physical ideas, from published texts and the scientific contents at stake. It is instructive of the state of the scientific community in the country at that period, of the trends towards the formation of a local scientific tradition, and of the relationships and received influences from European countries «traditions», especially the French one.

MOTS-CLES : Théorie de la relativité, Relativité générale, courbure de l'espace, éclipse solaire, théorie des quanta, théorie BKS, traditions scientifiques, styles scientifiques, influences, réception, transmissions, débats philosophiques, Argentine, Brésil, Sobral, Académie des sciences, Amoroso Costa, A.C.D. Crommelin, Arthur Eddington, Albert Einstein, Luiz Freire, Lelio Gama, Paul Langevin, Henrique Morizé, Henri Poincaré, Theodoro Ramos.

KEY WORDS : Theory of relativity, General Relativity, curvature of space, solar eclipse, theory of quanta, BKS theory, scientific traditions, scientific styles, influences, reception, transmissions, philosophical debates, Argentina, Brazil, Sobral, Academy of sciences, Amoroso Costa, A.C.D. Crommelin, Arthur Eddington, Albert Einstein, Luiz Freire, Lelio Gama, Paul Langevin, Henrique Morizé, Henri Poincaré, Theodoro Ramos.

1

INTRODUCTION

Les circonstances de l'implantation de la science contemporaine dans des pays d'Amérique du Sud comme le Brésil ou l'Argentine constituent un bon révélateur des conditions intellectuelles, mais aussi institutionnelles et sociales, de l'établissement d'une tradition scientifique propre dans des "pays neufs", anciennement soumis à une puissance coloniale européenne. Pour ce qui concerne la physique, dans le premier tiers du vingtième siècle, les renouvellements de nature fondamentale furent portés par la théorie de la relativité (restreinte et générale) et par la physique quantique. L'impact produit par ces deux doctrines tant sur les scientifiques que sur le public - dans le monde en général, et dans cette région en particulier - fut cependant très différent de l'une à l'autre, et connu, pour chacune d'entre elles, des degrés divers suivant les contextes. La nouveauté radicale et l'importance de la physique quantique n'apparurent en toute évidence qu'avec la formulation de la mécanique quantique, c'est-à-dire à partir de 1927. Cette dernière théorie fut adoptée dès lors immédiatement - mais avec des répercussions limitées au milieu scientifique et aux philosophes intéressés par les problèmes de la connaissance. La théorie de la relativité, par contre, ne s'était imposée universellement que quelques années auparavant, au début des années vingt, alors que, comme on le sait, la théorie de la relativité restreinte remonte à 1905 et celle

de la relativité générale à 1916¹. Sa réception fut plus donc plus difficile et plus tardive.

Certaines conditions expliquent ce “retard” - qui ne doit toutefois pas nous faire oublier qu’un nombre non négligeable de physiciens, en Europe surtout, avaient adopté bien plus tôt la théorie d’Einstein, qu’ils contribuèrent d’ailleurs à diffuser, voire à expliciter et à développer. La théorie de la relativité portait - à la différence de la physique des quanta, dont l’exigence s’imposait pour la matière atomique constitutive de tous les corps - sur des phénomènes qui paraissaient alors échapper à l’expérience “de tous les jours”, et la nécessité de les prendre en compte n’était évidente ni pour l’enseignement, ni pour les applications techniques, ni même dans les travaux de recherche “courants” dans les laboratoires. Au surplus - car ceci n’est explicatif qu’en partie -, les profondes transformations que cette théorie impliquait sur des notions aussi ancrées que l’espace, le temps ou la géométrie euclidienne n’apparaissaient pas à tous urgentes, ni même nécessaires.

Cependant, l’annonce du résultat de l’observation de la courbure des rayons de lumière au voisinage du Soleil, à la faveur de l’éclipse de 1919, eut immédiatement une répercussion extraordinaire dans le monde entier, et l’on peut dater de ce moment la prise en considération générale - fût-elle critique - de la théorie d’Einstein qui en avait fait la prédiction. Cet intérêt émanait aussi bien de la communauté des scientifiques que du public, frappé par le caractère étonnant - si loin de ses représentations intuitives -, des nouvelles notions qui n’étaient pas seulement abstraites, puisqu’elles semblaient gouverner les lois de l’Univers.

Deux moments significatifs marquent les circonstances de la réception de la théorie de la relativité au Brésil. Le premier fut l’annonce du résultat de l’observation de l’éclipse du Soleil de 1919, comme dans le reste du monde, mais avec, dans le cas du Brésil, cette particularité que l’une des missions de la double expédition astronomique organisée à l’initiative de l’astronome Arthur Eddington pour observer l’éclipse, fut précisément envoyée dans le Nordeste de ce pays, à Sobral, dans l’Etat de Ceará, l’autre l’étant en Afrique, à l’île de Principe, dans le Golfe de Guinée : deux lieux, situés à l’Equateur, où l’éclipse devait être maximale et favoriser l’observation. Ainsi, le Brésil ne fut-il pas, en principe, concerné seulement par l’annonce du résultat, mais également par le passage de l’expédition et même par la participation de plusieurs de ses astronomes et techniciens. Le second moment fut celui, culminant, du voyage d’Einstein en Amérique latine en 1925, et de ses séjours en Argentine, en Uruguay et au Brésil, où il eut l’occasion de rencontrer les membres des communautés scientifiques de ces pays, de leur exposer ses conceptions et d’en discuter avec eux.

C’est entre ces deux événements marquants que se situe pour l’essentiel la réception de la théorie d’Einstein. Nous les évoquerons en premier lieu. Puis nous examinerons cette réception elle-même et les débats dont elle fut l’occasion chez les scientifiques brésiliens, dans la mesure où ils apparaissent très

¹ Einstein [1905], [1916].

instructifs de l'état de la communauté scientifique de ce pays². Ces débats eurent lieu au Brésil, tout comme d'ailleurs en Argentine, aussi bien dans les institutions universitaires et aux Académies que dans les revues scientifiques ou dans la presse. Le profil des différents acteurs, ainsi que le contenu des exposés, des mémoires et des articles, permettent de caractériser les tendances principales d'une tradition scientifique locale en formation et les rapports d'influence qu'elle entretient avec les traditions des pays européens, en particulier la tradition française. Ces rapports sont éclairés par la comparaison entre les publications et les débats analogues en Europe, et particulièrement en France³.

2

L'EXPEDITION DE L'ECLIPSE DE 1919 A SOBRAL

L'expédition astronomique organisée conjointement par la Royal Society et la Royal Astronomical Society de Londres, sous la direction de l'Astronome Royal⁴ et à l'initiative d'Arthur Eddington⁵, vérifia par les observations obtenues dans les deux stations choisies - Sobral, au Brésil, et Principe, en Afrique - la prédiction de la théorie de la relativité générale sur la courbure des rayons lumineux passant au voisinage du Soleil. La région du ciel voisine de cet astre au moment de l'éclipse était particulièrement riche en étoiles relativement brillantes, visibles pendant l'éclipse totale. Les rayons lumineux en provenance de ces étoiles et parvenant aux lieux d'observation devaient, selon la théorie d'Einstein, subir une déflexion de leur trajectoire en traversant le champ

² J'aurais souhaité étendre cette étude au cas de l'Argentine, mais le temps et la place ne m'ont pas permis de le faire ici. Ce sujet sera abordé dans une étude complémentaire en préparation.

³ Je remercie la direction et le secrétariat de l'Academia Brasileira de Ciências à Rio de Janeiro - en particulier Dona Marta - pour m'avoir facilité l'accès aux documents d'archives. Je remercie également l'Université Hébraïque de Jérusalem et le groupe des *Einstein papers* de l'Université de Boston pour l'autorisation de consulter les Archives Einstein, où j'ai pu prendre connaissance du journal intime (inédit) qu'il tint de son voyage en Amérique du Sud (Einstein [1925b]). J'ai bénéficié en outre de la consultation de documents aux bibliothèques de la COPPE à l'Universidade Federal do Rio de Janeiro, de l'Observatoire de Paris et de l'Université Paris 7-Denis Diderot. Les traductions des textes originaux en portugais, en anglais ou en allemand cités ci-dessous sont de moi (M.P.). Je suis reconnaissant à Ernst Hamburger pour son aide dans la traduction de certains passages du manuscrit en allemand du Journal de voyage d'Einstein.

⁴ Alors Sir Franck W. Dyson, qui attira dès 1917 l'attention de la Société Royale d'Astronomie sur l'importance de la théorie de la gravitation d'Einstein et sur la possibilité de tester ses prédictions à l'occasion de l'éclipse totale du Soleil prévue pour 1919: cf. Dyson [1917].

⁵ Cf. Eddington [1918], [1919]. L'organisme chargé d'organiser l'expédition fut la "Joint Permanent Eclipse Commission" mise en place par la Royal Society et la Royal Astronomical Society. Eddington décrit ainsi sa mission : "It is intended to concentrate entirely on the one problem of gravitation of light; other eclipse problem can be postponed to a future occasion, but no equally favorable opportunity of measuring the deflection of light will occur for many years" (Eddington [1919]).

de gravitation engendré par la grande masse du Soleil. Les positions apparentes des étoiles, enregistrées sur des photographies, pouvaient être comparées aux positions en temps normal⁶, photographiées quand la lumière émise par elles suit librement un parcours rectiligne. La déflection attendue pour une étoile de rayons rasant la surface du Soleil était de $1''75$ d'après les équations de la théorie de la relativité générale, dans sa formulation définitive de novembre 1915⁷. Elle serait de la moitié dans l'hypothèse antérieurement faite par Einstein, lorsqu'il ne supposait encore qu'un effet de gravitation sur la masse d'inertie des rayons lumineux en admettant l'inertie de l'énergie, indiquée par la relativité restreinte, mais en gardant la théorie newtonienne de la gravitation⁸.

L'éclipse eut lieu le 29 mai 1919⁹. Dans l'introduction à la deuxième édition de son *Report on the Relativity theory of gravitation*, parue en 1920, où il consigne les résultats des observations, Eddington indique que la déflection "devrait être $1''75$ selon la théorie de la relativité et $0''87$ (ou peut-être zéro) selon les théories antérieures"¹⁰, et il rapporte: "A Principe, où les observations furent fréquemment perturbées par des nuages, la valeur obtenue a été de $1''61$ avec une erreur probable de $0''3$ ¹¹, la précision s'avère suffisante pour permettre de conclure à la valeur d'Einstein. A Sobral, où le ciel fut essentiellement bleu, la valeur observée a été de $1''98$ ¹². La concordance des résultats calculés respectivement à partir des ascensions droites et des déclinaisons ainsi que l'accord des déplacements des [images des] étoiles avec la loi théorique démontrent de manière particulièrement satisfaisante la crédibilité¹³ des

⁶ L'observation et la prise de photos des positions des étoiles sans champ de gravitation interposé eut lieu deux mois après l'éclipse.

⁷ Einstein [1915]. Il s'agit de la dérivation finale des équations du champ de gravitation. Einstein a donné ensuite un exposé d'ensemble de sa théorie de la relativité générale, plus physique et moins aride mathématiquement: Einstein [1916].

⁸ Dans sa communication à la Royal Astronomical Society antérieure à l'expédition (Eddington [1919]), Eddington renvoie à cette prédiction d'Einstein qu'il date de 1910. Elle fut en réalité publiée en 1911 (Einstein [1911]) et supposait le principe d'équivalence entre la masse d'inertie et la masse de gravitation. Eddington signale aussi que l'astronome Freundlich s'était rendu en Russie dès 1914 pour observer l'éclipse du Soleil, avant la théorie de la relativité générale publiée à la fin de 1915, soulignant ainsi que l'observation avait un sens même sans la théorie, apportant de toute façon une information capitale sur la nature du rapport entre la masse et l'énergie pour la lumière issue des étoiles.

⁹ La Royal Astronomical Society reçut le 29 mai deux télégrammes expressifs et d'un laconisme tout britannique. L'un venait de Sobral, signé de Crommelin: "Eclipse splendid!", tandis que, de Principe, Eddington télégraphiait: "Through clouds. Hopeful". (Rubrique des notes d'information sur l'éclipse publiées dans *The Observatory*, vol. 42, 1919 (n° 540, juin), p. 256).

¹⁰ Eddington [1918], 2ème éd., 1920. Dans son rapport préliminaire avant les observations, Eddington [1919] indiquait que le déplacement maximal (pour des rayons rasants) serait de $1''75$ et, pour les autres étoiles, inversement proportionnel à leur distance du centre du Soleil.

¹¹ 10 sur les 16 photographies prises à Principe furent inutilisables pour les mesures d'étoiles, en raison des nuages, selon les notes d'information sur l'éclipse publiées dans *The Observatory*, numéro d'août 1919, p. 323.

¹² Une partie des photographies donna cependant des images floues, le miroir de l'un des télescopes ayant été déformé par la chaleur (Dyson, Eddington, Crommelin [1919]).

¹³ "Truthworthiness".

observations faites à cette station”¹⁴.

Le ciel bleu de Sobral devait faire dire à Einstein, lors de son escale à Rio de Janeiro, en mars 1925, en route vers Buenos Aires, selon les relations de l'époque : "Le problème que j'ai conçu dans ma tête a été résolu par le ciel lumineux du Brésil"¹⁵. Mais, en vérité, le ciel ne fut pas impavide bleu ce jour-là. L'éclipse commença le 29 mai à 7 h 46 du matin (premier contact), pour finir à 10 h 28, et fut totale de 8 h 58 à 9 h 03 (la totalité ayant eu lieu durant exactement 5 mn 12 s). Le ciel, au début totalement couvert de nuages, ne commença de s'éclaircir qu'au moment du premier contact et ne libéra la région où se trouvait le disque solaire que lors de la totalité.

Laissons la parole à Henrique Morizé, qui écrit dans son rapport à la Sociedade (devenue peu après Academia) Brasileira de Ciencias : “Tout le monde désespérait, mais le rideau s'amincit progressivement laissant apparaître ça et là des trouées qui, passant devant le Soleil, permettaient de voir que l'on s'approchait de la totalité. Soudain, à 8 h 42, une légère brise d'Est s'éleva qui chassa les nuages vers l'Ouest, laissant voir le disque solaire, déjà très obscurci, au milieu d'une grande tache bleue. Tous poussèrent un profond soupir de soulagement quand, à 8 h 55 de ma montre, je vérifiai que la totalité avait déjà commencé (...)”¹⁶. Le spectacle, alors, impressionna les spectateurs par sa majesté et sa beauté, décrite avec couleurs et un lyrisme sobre par Morizé¹⁷. Tout le ciel n'était pas bleu: mais les nuages restèrent en dehors du cône d'ombre, d'un rayon d'environ 300 kms.

A cette expédition participèrent plusieurs scientifiques brésiliens, au premier rang desquels Henrique Morizé, alors directeur de l'Observatoire national de Rio de Janeiro et introducteur, dès le tournant du siècle, de la physique expérimentale au Brésil¹⁸, et Lelio Gama, jeune mathématicien et ingénieur de talent, qui devait tenir un rôle important dans les débuts de la recherche en

¹⁴ Eddington [1918], 2^e éd., de 1920. L'introduction a été ajoutée à la seconde édition, la première datant de 1918, donc antérieure à l'observation de l'éclipse. Les résultats des observations ont été publiés dans Dyson, Eddington, Crommelin [1919] et Dyson, Eddington, Davidson [1920].

¹⁵ Propos rapporté dans Caffarelli [1979].

¹⁶ Morizé [1920], p.75-79.

¹⁷ Morizé [1920], p. 76: “Le ciel s'obscurcit, comme celui d'avant l'aurore, mais sans les lueurs dorées et pourpres de l'Orient, et se revêtit d'un bleu foncé, plus clair au voisinage du disque solaire, alors devenu complètement noir et autour duquel on pouvait voir la couronne, de couleur changeante, avec des nuances de nacre, et de formes plus ou moins compliquées, sur laquelle ressortait dans un rouge intense une belle protubérance, l'une des plus grandes observées, dont la photographie prise avec la lunette de Mailhat dans un temps d'exposition très bref donne une image magnifique”.

¹⁸ Henrique Morizé (1861-1930), d'origine française, arrivé au Brésil à l'âge de quatorze ans, avait fait des études à l'Ecole Polytechnique de Rio, et soutenu une thèse sur les rayons cathodiques et les rayons X (1896). Il fut le premier titulaire de la chaire de physique expérimentale à l'Ecole Polytechnique de Rio de Janeiro, qu'il occupa jusqu'en 1925. Directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro de 1908 à 1930, il le réorganisa et le modernisa. Sur l'histoire de cet Observatoire, voir Morizé [1927]. Sur Morizé, voir *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 2, n° 2, junho 1930, 59-73, Ferreira [1930], Pereira [1930], Moraes [1955].

physique et en mathématiques dans ce pays¹⁹. Toutefois, la contribution des scientifiques brésiliens à l'expédition porta exclusivement sur leur domaine d'intérêt, à savoir l'observation de la couronne solaire, et les collaborateurs britanniques d'Eddington s'occupèrent seuls des observations sur la déflexion des rayons lumineux provenant des étoiles voisines du disque solaire.

L'expédition à Sobral²⁰ se composait de trois commissions scientifiques travaillant indépendamment. Celle envoyée par l'Observatoire de Greenwich, constituée de deux astronomes britanniques (A.C.D. Crommelin et D. Davidson)²¹ s'était adjoint comme interprète un ingénieur brésilien formé aux Etats-Unis (Leocardo de Araujo). Elle se proposait d'élucider, indique Morizé, "la déjà célèbre théorie de la relativité d'Einstein dont les conséquences, si elles s'avèrent réelles, obligeront à introduire de profondes modifications en physique théorique et dans la mécanique des corps animés de grandes vitesses"²².

La commission brésilienne était constituée, outre son chef Henrique Morizé, et Lelio Gama dans les fonctions de "calculateur", des ingénieurs Domingos de Costa et Allyrio de Mattos, assistants à l'Observatoire national de Rio; de Th. H. Lee, du Service géologique et expert en spectroscopie, du météorologiste Luiz Rodrigues, chargé des observations concernant l'influence de l'éclipse sur la température, la pression et le vent - avec mission d'installer une station climatologique permanente à Sobral -, ainsi que d'un "habile mécanicien", Artur de Castro Almeida. La commission procéda à des observations détaillées de la couronne solaire, en particulier relativement à la spectroscopie de ses constituants, et à ses mouvements, qui correspondait à une problématique privilégiée à l'Observatoire de Rio²³.

Une troisième commission avait été envoyée des Etats-Unis à l'initiative de Louis Bauer, directeur du Département de magnétisme terrestre à l'Institut Carnegie, pour compléter les observations de la commission brésilienne (et à la demande de cette dernière, qui ne disposait pas de l'équipement nécessaire), en étudiant les effets de l'éclipse sur le magnétisme terrestre et sur l'électricité atmosphérique. Cette commission était constituée de Daniel Wise et Andrews Thomson, chercheurs diplômés de l'Université Harvard, et du brésilien

¹⁹ Il fut plus tard, en 1952, directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro.

²⁰ Sur l'expédition à Sobral, voir aussi Mourão [1987], appendice 2.

²¹ Un récit du voyage de la commission britannique a été fait devant la Royal Astronomical Society par Crommelin [1919].

²² Morizé [1920], p. 70. Ce commentaire semble indiquer un amalgame des deux théories, relativité restreinte (impliquée par les grandes vitesses), et générale (courbure de l'espace dans un champ de gravitation).

²³ Dans son compte-rendu des observations de la commission brésilienne, H. Morizé donne une présentation détaillée des connaissances en la matière: Morizé [1920], p. 65-70. Il indique avoir communiqué ses photos des protubérances de la couronne à "l'une des plus grandes autorités mondiales en matière d'éclipse, le professeur Ch. D. Perrine, directeur actuel de l'Observatoire de Cordoba en République Argentine", qui les trouva "les plus belles qu'il ait jamais vues" (*ibid.*, p. 77). Deux photos des protubérances solaires, l'une prise à Sobral, l'autre à Principe, ont été publiées avec le rapport du "Joint eclipse meeting" en première page du numéro de novembre 1919 de la revue de la Royal Astronomy Society, *The Observatory* (Dyson, Eddington, Crommelin [1919]).

H. de Lima, de Fortaleza, comme interprète.

Tout ceci sans compter la présence, près des installations de la commission brésilienne, d'«un intrépide amateur de Rio de Janeiro, M. Alfredo Leal da Costa, qui avait fait le voyage à seule fin d'observer l'éclipse»²⁴.

Dans le rapport de la commission brésilienne, lu par Henrique Morizé à la Société Brésilienne des Sciences le 22 février 1920, celui-ci, après avoir donné un compte-rendu détaillé des circonstances de l'expédition et du résultat des observations de la commission brésilienne, conclut sa relation en évoquant les travaux de la commission britannique et l'«importante question» que celle-ci se proposait de résoudre, à savoir la vérification de la théorie d'Einstein, qui avait déjà réussi à expliquer le mouvement du périhélie de Mercure. Le résultat des photographies, prises à l'aide de lunettes de Mailhat analogues à celles utilisées par les brésiliens pour l'observation de la couronne solaire, mais de champ plus large (pour englober davantage d'étoiles), lui avaient été communiquées par Sir Franck W. Dyson, astronome royal et directeur de l'Observatoire de Greenwich où les photographies avaient été étudiées²⁵.

Morizé souligne à cette occasion une distinction faite par Eddington entre «la théorie d'Einstein» et sa «loi de gravitation», seule cette dernière étant, à strictement parler, confirmée par l'observation de la courbure des rayons lumineux, la première devant encore répondre au test du décalage vers le rouge des raies spectrales²⁶. Bien que Morizé ne précise pas autrement ce qui fait la différence alléguée entre la «théorie d'Einstein» et sa «loi de la gravitation», on peut deviner que la seconde est conçue comme empirique alors que la première concerne la doctrine de l'espace-temps, qui inclut celui de la Relativité restreinte et l'étend, avec la Relativité générale, aux propriétés de la matière par la géométrisation de la gravitation.

C'est en effet ce qui ressort du commentaire d'Eddington lui-même : la courbure des rayons lumineux est une conséquence de la *loi* de la gravitation d'Einstein, tandis que la *théorie*, qui donne une explication de cette loi, fait

²⁴ Toutes ces informations sont données par Morizé dans son rapport. Partie de Rio le 25 avril, la commission brésilienne arriva à Sobral le 9 mai après un voyage par mer et par terre, et utilisa les vingt jours précédant l'éclipse à préparer ses instruments et ses mesures. A.C.D. Crommelin indique dans son récit que les brésiliens qui s'étaient joints à l'expédition étaient nombreux, la quasi-totalité des spécialistes de l'Observatoire de Rio, plusieurs accompagnés de leurs familles (Crommelin [1919]). Crommelin loue à plusieurs reprises l'hospitalité des brésiliens manifestée aux membres de sa commission tout au long de leur séjour.

²⁵ Morizé renvoie au compte-rendu de la séance conjointe des Sociétés Royale et Astronomique Royale de Londres, du 6 novembre 1919, où les résultats avaient été annoncés. Ce compte-rendu figure dans le numéro de novembre 1919 de la revue *The Observatory* (Dyson, Eddington, Crommelin [1919]); les résultats firent l'objet, peu après, d'une publication détaillée dans *The Philosophical Magazine* (Dyson, Eddington, Davidson [1920]). Voir aussi la deuxième édition, parue en 1920, de Eddington [1918], augmentée d'une présentation des résultats.

²⁶ "En effet", indique Morizé, "pour que la théorie soit confirmée, il faudrait aussi observer le déplacement prévu des lignes de Fraunhofer dans le spectre solaire, ce qui, cependant, n'a pas encore été réalisé" (Morizé [1920]). Morizé reprend effectivement ici les explications données par Eddington dans sa dernière intervention lors du débat qui suivit la présentation des résultats devant les deux académies royales de Londres (Dyson, Eddington, Crommelin [1919], p. 398).

l'hypothèse d'une grandeur physique, ds , l'élément invariant de la distance spatio-temporelle.²⁷ De fait, cette distinction sera présente dans les débats ultérieurs sur la théorie d'Einstein, s'agissant de savoir si le formalisme d'espace-temps - et avec lui la courbure de l'espace - n'est qu'une commodité mathématique ou s'il exprime une caractéristique physique. Il est intéressant de noter que Morizé est très attentif à une telle distinction.

L'observation de la déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil lors de l'éclipse de 1919 fut, comme on le sait, le point de départ de l'immense célébrité de la théorie de la Relativité générale, formulée dès la fin de 1915, et de son auteur. De ce moment date également l'intérêt effectif que la communauté scientifique dans son ensemble porta vers la théorie de la relativité, qui fut généralement adoptée quelque temps après - et la Relativité restreinte elle-même, élaborée dès 1905, fut définitivement acceptée, dans le chemin que venait de frayer son extension, la Relativité générale, comme dynamique de la gravitation²⁸.

3.

LE SEJOUR D'EINSTEIN EN ARGENTINE ET AU BRESIL

Plusieurs années plus tard, en 1925, Einstein fit un voyage en Amérique du Sud : il séjourna un mois en Argentine, passa une semaine en Uruguay, et une autre semaine au Brésil. Il donna des cours et des conférences sur la théorie de la relativité et sur divers sujets, scientifiques, culturels et même politiques. Les conférences du physicien déjà célèbre furent l'occasion de débats passionnés chez les scientifiques, mais aussi dans la société intellectuelle²⁹. Ces réactions sont symptomatiques de la place faite alors à la science dans ces pays, ainsi que de ses orientations, en particulier en ce qui concerne la physique et les mathématiques. C'est à ces circonstances que nous nous intéresserons ici, délaissant les aspects de ces séjours qui eurent aussi une importante répercussion dans le grand public, pour examiner en particulier les rapports d'influence qu'il est possible de déceler entre les traditions scientifiques européennes et celles, en

²⁷ Voici ce que dit exactement Eddington: "When a result that has been forecasted is obtained, we naturally ask what part of the theory exactly does it confirm. In this case it is Einstein's *law* of gravitation. It is not necessarily his theory that is confirmed, with the underlying assumption that ds is a quantity measurable by clock and scale. There still remains the question what the intermediary quantity ds is, which must be tested by the Fraunhofer lines". (Souligné par Eddington).

²⁸ Voir Paty [1993], chapitre 5.

²⁹ Des compte-rendus et des études en ont été fournis notamment par Calloni [1976], Delfino Galles [1982] (pour l'Argentine), Caffarelli [1979], Alves [1994] (pour le Brésil).

formation, de ces pays, tout en nous en tenant, ici, au cas du Brésil³⁰.

La communauté scientifique argentine avait pris l'initiative, dès la fin de 1923, par une action conjointe des Universités de Buenos-Aires - qui en fut l'instigatrice -, de Córdoba et de Tucumán, d'inviter l'auteur de la théorie de la relativité pour un séjour d'un mois, dans la perspective, semble-t-il, d'une invitation permanente, étant donné la recrudescence en Allemagne du nationalisme et de l'antisémitisme, la montée déjà perceptible du nazisme et les menaces adressées à Einstein³¹, adversaire de tous les nationalismes et internationaliste notoire, qui avait soutenu dès ses débuts difficiles la République de Weimar. L'invitation lui avait été transmise par Leopoldo Lugones, écrivain, journaliste, professeur à l'Université de La Plata et membre de la Commission de Coopération Intellectuelle (dont Einstein faisait partie), lors de son passage en Allemagne. Le savant avait accepté, et le voyage se réalisa en mars-avril-mai 1925³².

Ayant quitté le port de Hambourg le 5 mars, Einstein arriva à Buenos-Aires le 24³³ et en repartit un mois plus tard après avoir donné des séries de cours et des conférences à Buenos Aires ainsi qu'à La Plata et Cordoba. Sur le chemin du retour, il s'arrêta en Uruguay où il demeura du 24 avril au 1er mai, donnant trois conférences à Montevideo. Puis il séjourna une semaine au Brésil, à Rio de Janeiro³⁴. L'invitation à s'arrêter à Rio lui avait été transmise, à son escale sur le

³⁰ Le présent travail s'inscrit dans un ensemble de recherches portant sur l'histoire de la physique théorique et mathématique en Amérique du Sud par rapport aux influences européennes. Cf. Paty [1991], [1992a], [en prép., a]. Voir aussi Paty [1992b].

³¹ Selon le témoignage de Guido Beck, rapporté dans Caffarelli [1979]. Physicien d'origine autrichienne, ancien élève et collaborateur de Heisenberg, Guido Beck dut fuir l'Europe et se fixa durant la Seconde Guerre Mondiale en Argentine, à Bariloche, avant de trouver dans les années 70, lorsque les militaires argentins imposèrent leur dictature, un nouveau refuge au Brésil.

³² Einstein tint un journal de son voyage en Amérique du Sud : Einstein [1925b], inédit (archives Einstein).

³³ Après de courtes escales à Rio de Janeiro (le 21 mars) et à Montevideo (le 24 mars au matin).

³⁴ Au cours de ces séjours, Einstein s'exprima essentiellement en français, mises à part ses rencontres avec les communautés allemandes et israéliennes. Cet aspect culturellement significatif ne semble cependant pas avoir retenu l'attention de l'ambassadeur de France au Brésil de l'époque, M. A.R. Conty, dans sa lettre au ministre des Affaires étrangères à Paris, en date du 18 mai 1925, dans laquelle il l'informe du "séjour de M. Einstein à Rio de Janeiro" et où perce - outre l'ignorance scientifique - un certain étonnement de condescendance, voire quelque mépris de caste dirigé tout autant contre l'original, le savant lunaire, et le juif allemand. "M. Einstein, le célèbre mathématicien (*sic*), a passé au début de ce mois de mai une huitaine de jours à Rio de Janeiro. Il a fait trois conférences à l'Académie des sciences, au Club des ingénieurs et à l'Ecole Polytechnique. Il a été l'objet d'une réception flatteuse (*sic*) de la part du Docteur Aloysio de Castro, délégué du Brésil à la Commission intellectuelle à la Société des Nations. Il a reçu la colonie israélienne à l'Automobile Club et s'est rendu au Club Germania, centre d'influence et de propagande allemande (*sic*). Les principaux membres de la colonie allemande lui ont offert le 11 mai un grand dîner à l'hôtel Gloria. Il a visité l'Institut Oswaldo Cruz, le Musée National de Boa Vista, et l'Asile des Aliénés. Le président de la République lui a *accordé* une audience" (*sic*, c'est moi, M.P., qui souligne : Einstein ne l'avait certainement pas sollicitée !). L'ambassadeur colporte ensuite deux ou trois anecdotes tendant à montrer que le savant adulé ne se faisait pas une très haute idée du niveau de ses interlocuteurs scientifiques ("les médecins, aurait-il dit, ne me comprennent pas; mais les ingénieurs font semblant de me comprendre"), et qu'il manquait de

trajet de l'aller vers Buenos-Aires, par Aloyso de Castro, lui aussi membre (brésilien) de la Commission de Coopération Intellectuelle, au nom de la communauté scientifique³⁵. Il arriva à Rio le 4 mai, et repartit pour l'Europe huit jours après.

En Argentine, Einstein séjourna à Buenos Aires, fit une visite à La Plata et un voyage de trois jours à Cordoba, où il prononça une conférence devant les universitaires réunis en session solennelle³⁶. A Buenos Aires, il donna une série de huit exposés à la Faculté des Sciences Physiques et Naturelles³⁷. Il prononça également une conférence à la Faculté de philosophie, dont le doyen était Coriolano Alberini, professeur d'"Historia Epistemologica", à qui l'on dut l'initiative d'inviter des personnalités étrangères comme le mathématicien espagnol Rey Pastor³⁸, dont le rôle sur la science en Argentine fut considérable, Blas Cabrera, Einstein lui-même et, quelque temps après, Paul Langevin³⁹. La conférence, qu'Einstein mentionne dans son journal comme portant sur "la représentation intuitive de l'espace sphérique", était intitulée "Positivism et idéalisme : la géométrie et l'espace fini et sans limite"⁴⁰. Einstein fut reçu le 16 avril comme membre d'honneur par l'Academia de las Ciencias Fisicas y Naturales de Buenos Aires, [et donna une communication ayant pour titre "Les géométries non euclidiennes et la physique"⁴¹] **(corriger)**.

Les détails du séjour d'Einstein en Uruguay sont moins connus⁴². Outre les trois conférences prononcées à l'Université, il eut des entretiens avec le philosophe Carlos Vaz Ferreira, avec lequel il s'accorda, dans une lettre écrite

finesse en société ("C'est sans doute à Paris que vous avez appris à vous maquiller", aurait-il dit à une femme de lettres élégante, laquelle lui aurait répliqué: "Non monsieur, c'est chez les Indiens Guaranis"). Je n'ai pas voulu passer sous silence ce témoignage éclatant - bien pitoyable - de décalage entre le point de vue mesquin de certains officiels et une authentique valeur de culture qui transcende les préjugés de nation et d'Etat. Je dois la connaissance de cette lettre à l'obligeance de Patrick Petitjean qui l'a dénichée aux Archives diplomatiques, service des oeuvres, à Nantes.

³⁵ Caffarelli [1979] indique que l'écrivain Assis Chateaubriand a laissé une remarquable description de la conversation qu'il eut avec Einstein à l'occasion de cette escale. Einstein mentionne, dans son journal de voyage, le caractère agréable des gens qui l'accompagnaient dans sa première visite de Rio, sans donner plus de détails, sinon son enthousiasme pour la luxuriance de la nature aperçue au Jardin botanique et pour le riche métissage de la population: "Expérience merveilleuse. Richesse indescriptible d'impressions en si peu d'heures" (Einstein [1925b]).

³⁶ Visite à La Plata le 2 avril. Séjour à Cordoba, du 11 au 14 avril. Cf. Einstein [1925b].

³⁷ Voir Einstein [1925b], les compte-rendus de la presse argentine de l'époque, et Calloni [1976].

³⁸ Rey Pastor était installé en Argentine depuis 1921. Sur Rey Pastor, voir Santalo [1972], Ortiz [1983].

³⁹ Le voyage de Langevin eut lieu en 1928.

⁴⁰ Einstein [1925b]. La conférence fut donnée le 4 avril.

⁴¹ Einstein [1926a]. Sur la réception d'Einstein à l'Académie de Buenos Aires, voir Academia Argentina [1929], Castiñeiras [1925].

⁴² Je n'en sais, pour ma part, que les quelques notes laconiques qu'il a jetées sur son journal de voyage, comme pour ses séjours en Argentine et au Brésil et les périodes en mer. Au moment d'apporter les dernières corrections à ce texte, je reçois une lettre de M. Uruguay A. Rossani, de l'université de Montevideo, qui m'informe de son intention de préparer une étude sur le séjour d'Einstein en Uruguay (communication privée de M. U. A. Rossani, en date du 6 mars 1995).

postérieurement⁴³, pour dire que “la vérité ne peut être entendue dans le sens pragmatiste”.

Au Brésil, Einstein resta, du 4 au 12 mai, à Rio de Janeiro où il donna également une série d'exposés sur la théorie de la relativité selon un itinéraire qui alla du Club des Ingénieurs (le 6 mai, sur la Relativité restreinte) à l'Ecole Polytechnique (le 8 mai, sur la Relativité générale). Il fut également reçu, le 7 mai, par l'Académie Brésilienne des Sciences, comme membre correspondant, y prononçant une communication sur “La situation actuelle de la nature de la lumière”.

Le séjour d'Einstein, les exposés qu'il présenta, la manière dont ils furent reçus, les contacts avec les scientifiques rencontrés, ses réactions elles-mêmes, sont expressifs de la situation de la physique théorique et mathématique dans les pays visités. On va le voir, à l'évocation de quelques aspects des manifestations intellectuelles et scientifiques qui ont marqué son passage dans le cône sud du continent américain. Outre les compte-rendus parus dans la presse et dans les revues plus spécialisées, nous disposons des textes - peu connus - de ses deux communications aux Académies ainsi que de son propre journal de voyage, inédit⁴⁴, où il notait au jour le jour, sans prétention, quelques impressions de ce voyage à ce qui était alors, considérant les distances, un autre bout du monde.

A chacune des Académies des Sciences où il fut reçu, Einstein fit donc une communication sur des sujets scientifiques d'actualité: à Buenos Aires, il parla sur la Géométrie non euclidienne et son rôle dans la formulation de la Relativité générale, et à Rio sur une expérience importante d'alors pour la physique quantique, qui précéda de peu la véritable explosion théorique que devait représenter l'apparition de la mécanique quantique. Ainsi, dans ses communications aux Académies sud-américaines au cours de son voyage de 1925, Einstein garda-t-il un équilibre entre ses deux préoccupations majeures, la théorie de la relativité (à Buenos-Aires)⁴⁵ et celle des quanta (à Rio de Janeiro)⁴⁶, chacune de ces contributions présentant d'ailleurs à quelque titre un caractère inédit et original. Quant aux autres conférences qu'il prononça dans diverses institutions universitaires, elles portèrent sur le corpus déjà établi de la théorie de la relativité.

La communication

à l'Académie des sciences de Rio de Janeiro

sur La situation actuelle de la théorie de la lumière

⁴³ Information donnée par M. U. A. Rossani.

⁴⁴ Archives Einstein.

⁴⁵ Einstein [1926b]. Ce travail original d'Einstein s'inscrit dans une série de réflexions sur les rapports de la géométrie et de la physique développées notamment dans son texte de 1921 sur “La géométrie et l'expérience” (Einstein [1921a]) et dans des écrits ultérieurs. Sur ces questions, voir *Einstein philosophe* (Paty [1993]), chapitre 7, dans lequel j'ai donné une analyse détaillée de la conférence à l'Académie des sciences de Buenos Aires.

⁴⁶ Voir plus bas.

La communication devant l'Académie Brésilienne des Sciences, prononcée le 7 mai⁴⁷, porta donc sur la physique quantique. Il est probable qu'Einstein ait proposé de parler sur ce sujet à l'Académie de Rio lors de son escale à l'aller, lorsque lui fut faite l'invitation d'y séjourner une semaine à son retour d'Argentine. En effet, quand il était encore en mer, trois jours avant cette escale, il notait dans son Journal : "Idée pour l'explication de la cohérence de la radiation émise dans différentes directions". Ce sujet de réflexion touchait à la nature des quanta de lumière, dont il n'avait pas cessé de se préoccuper depuis vingt ans, et sur lequel il venait lui-même de proposer de nouvelles considérations (notamment sur la statistique des photons et des gaz de particules monoatomiques, c'est-à-dire la statistique dite depuis "de Bose-Einstein")⁴⁸. C'est donc sur ce thème qu'il choisit de parler à ceux qui l'accueillirent à son premier contact avec la terre sud-américaine, en s'en tenant toutefois à exposer un problème récemment soulevé, relativement simple à concevoir, mais significatif de l'enjeu que représentait alors l'hypothèse des quanta⁴⁹.

Il donna sa conférence, intitulée "Remarques sur la situation actuelle de la théorie de la lumière"⁵⁰, en français; elle fut publiée en portugais dans une traduction du texte original manuscrit en allemand⁵¹. Einstein y exposa la tentative théorique récente, proposée en 1924 par Bohr, Kramers et Slater⁵² sur l'émission de rayonnement par des atomes, visant à préserver la physique classique et la continuité des échanges d'énergie dans les phénomènes atomiques, tout en la conciliant avec la discontinuité quantique observée. Dans cette théorie, les sauts quantiques des électrons entre les niveaux de l'atome sont déterminés seulement de manière statistique à travers un champ, régi par les équations de Maxwell, mais de nature virtuelle, sans énergie physique échangée; il s'ensuit que la conservation de l'énergie et de l'impulsion ne devrait être vérifiée que de manière statistique.

Einstein avait lui-même opposé des objections à cette théorie⁵³. Il indiqua, dans sa communication, l'idée essentielle des auteurs de l'article 'BKS', qui était de maintenir la conception classique en ne voyant dans les propriétés quantiques de la lumière qu'un effet seulement statistique: il leur fallait pour cela abandonner la conservation de l'énergie-impulsion pour les processus individuels,

⁴⁷ Einstein fut reçu à l'Académie brésilienne des sciences comme membre correspondant. Le discours qui l'accueillit fut prononcé en français par Francisco Lafayette Pereira. Einstein commente, dans son Journal, la cérémonie de réception: "Ces gens sont de grands orateurs. Quand ils font l'éloge de quelqu'un, c'est de son éloquence qu'ils parlent. Pour moi, ces singeries et cette absence d'objectivité ont à voir avec le climat. Mais les gens n'en croient rien" (Einstein [1925b]).

⁴⁸ Einstein [1924], [1925a].

⁴⁹ La communication d'Einstein ne présente pas de nouveauté particulière par rapport à sa pensée des quanta : elle se contente d'exposer un état de la recherche du moment.

⁵⁰ Einstein [1926b].

⁵¹ Je n'ai pas retrouvé l'original. La traduction fut faite par Roberto Marinho de Azevedo. Voir mon *Einstein, les quanta et le réel* (Paty [à paraître, a]), chap 2.

⁵² Cette théorie est connue sous le sigle 'théorie BKS': cf. Bohr, Kramers, Slater [1924].

⁵³ Cf. Paty [à paraître, a].

et n'y voir qu'une loi sur des moyennes. Il exposa ensuite la théorie BKS de la diffusion Compton (des quanta de lumière sur des électrons) conçue comme un processus continu auquel tous les atomes de la substance diffusante prennent part, l'émission d'électrons correspondant seule à des processus individuels, obéissant à des lois statistiques. Si tel était le cas, l'électron et la lumière diffusée seraient émis indépendamment et sans corrélation dans chaque processus individuel, ce qui se marquerait dans la distribution observée. Une dépendance était prédite au contraire dans l'hypothèse des quanta de lumière.

Einstein décrivit également le dispositif de l'expérience mise au point par Geiger et Bothe pour vérifier cet effet, et dont on attendait encore le résultat. Il fit remarquer que la physique des quanta posait des problèmes encore non résolus, rappelant que "malgré tous les efforts des physiciens, on n'est pas encore parvenu à une synthèse logique de la théorie des quanta et de la théorie ondulatoire" (c'est-à-dire à concilier la discontinuité quantique et la continuité du rayonnement électromagnétique), et que "l'on s'interroge beaucoup sur la nature des quanta de lumière". Il conclut son exposé en faisant valoir que, si la dépendance entre l'électron et le rayonnement devait être observée, on disposerait là d'"un nouvel argument de valeur en faveur de la réalité des quanta de lumière"⁵⁴. Cela correspondait à sa position personnelle sur la question, qui avait toujours considéré comme inéluctable la réforme théorique profonde requise par les phénomènes quantiques. Il avait lui-même indiqué que le résultat des expériences serait probablement négatif, montrant la corrélation attendue par la théorie des quanta⁵⁵. De fait, la question fut tranchée dans ce sens par les expériences conclues, la même année 1925, par Geiger et Bothe⁵⁶.

Mais peu de scientifiques, parmi les auditeurs, parurent alors intéressés par les problèmes de la physique quantique. La communication à l'Académie prenait figure de sujet très spécialisé, et la théorie quantique devrait, en fait, attendre quelques années pour faire l'objet d'un enseignement approfondi, comme celui que donna plus tard Teodoro Ramos. La relativité polarisait décidément l'attention. Et c'est d'ailleurs à elle que furent consacrées les séances ultérieures de discussion de l'Académie brésilienne des sciences qui eurent lieu immédiatement après le retour d'Einstein en Europe.

Les conférences sur la Relativité et les effets du séjour d'Einstein sur la science au Brésil

Einstein eut l'occasion d'exposer la théorie de la relativité au cours de deux conférences données respectivement au Club des Ingénieurs, le 6 mai⁵⁷, sur

⁵⁴ Einstein [1926b].

⁵⁵ Einstein, lettre à Paul Langevin du 16.12.1924 (*in* Langevin, Luce [1972]).

⁵⁶ Geiger, Bothe [1925].

⁵⁷ Il le fit, rapportent les compte-rendus de presse, en un "français pittoresque, dans lequel quelques termes allemands détonnent, prononcés dans la langue de Racine" (cité par Caffarelli). Il

la Relativité restreinte, et à l'Ecole Polytechnique de Rio, le 8 mai, sur la Relativité générale⁵⁸. Il donna ces conférences sans équations ni calculs compliqués, “faisant comprendre clairement les conclusions principales de la théorie”, en donnant à voir de la manière la plus limpide - au grand dam de beaucoup, dit la chronique, du moins celle qui militait pour la modernité - comment s'imposait la critique des idées acquises⁵⁹. Des notes prises par un journaliste en furent publiées dans le périodique *O Jornal*⁶⁰.

Cependant, en dépit de leur intérêt relativement au contexte de la science brésilienne, les débats qui eurent lieu à cette occasion furent plutôt décevants quant à leur contenu. Einstein lui-même marqua cette déception dans son journal intime tenu durant son voyage en Amérique du Sud : il n'avait pas rencontré de véritable interlocuteur au Brésil sur les questions scientifiques abordées⁶¹. Celui qui aurait pu l'être, Amoroso Costa, considéré comme le pionnier des idées relativistes au Brésil⁶², voyageait alors en Europe. A la vérité, la génération des physiciens relativistes était alors encore très jeune, et le nombre de ceux, parmi les scientifiques - mathématiciens ou physiciens -, qui comprenaient vraiment la nouvelle théorie était restreint⁶³. Avec Amoroso Costa, qui faisait figure de chef de file, et Roberto Marinho de Azevedo, professeur de mathématiques à l'Ecole Polytechnique de Rio, qui avait été le premier, en 1919, à présenter à l'Académie - elle s'appelait alors Société Brésilienne des Sciences - les conceptions relativistes, c'étaient Teodoro Ramos, Sodré de Gama, Lelio Gama, et quelques autres, et la plupart d'entre eux donnèrent seulement vers ces années-là leurs premières contributions scientifiques, d'ailleurs généralement orientées vers d'autres domaines⁶⁴.

écrit, pour sa part, dans son Journal, qu'il parla “dans une salle comble avec le bruit de la rue par les fenêtres ouvertes”, et commente : “Rien que du point de vue acoustique, compréhension impossible. Peu de signification scientifique. Suis plus ou moins une espèce d'éléphant blanc pour les autres, et les autres des singes pour moi”.

⁵⁸ Einstein note laconiquement: “Après-midi, conférence à l'Ecole d'ingénieurs. Grosse chaleur dans la salle comble”.

⁵⁹ Cf. Caffarelli [1979].

⁶⁰ *O Jornal* (Rio), respectivement le 7 et le 9 mai 1925.

⁶¹ Einstein [1925b].

⁶² Caffarelli [1979].

⁶³ Par ailleurs, le visiteur célèbre fut accaparé par les personnalités officielles, et la beauté du site de Rio fut ce qui lui resta surtout, en fait de souvenir marquant, de son court séjour au Brésil. Il faut toutefois souligner quelques exceptions : la visite de l'Institut de biologie (de Manguinhos) dont les recherches l'impressionnèrent, la rencontre avec les frères Osorio de Almeida, biologistes de qualité, dont il nota les “travaux intéressants sur la respiration”; et l'aperçu sur l'oeuvre du général Rondon (“un ami des hommes et un meneur de premier plan”) que lui offrit une grande présentation de films sur la vie des indiens (Einstein [1925b]). Son séjour fut agréable mais surchargé, il souffrait de la chaleur humide étouffante, regrettait le calme, se serait voulu loin “de tant de gens inconnus”. Il note, après sa dernière obligation : “Enfin libre, mais plus mort que vivant” (*ibid.*).

⁶⁴ Einstein est vu, il est vrai, à plusieurs reprises sur les photographies, aux cotés de Henrique Morizé, qui avait participé à l'expédition à Sobral. Mais celui-ci fut malade pendant une partie du séjour d'Einstein (président de l'Académie, Morizé dut être remplacé le jour de la réception d'Einstein pour l'accueillir). Par ailleurs, tout en appréciant certains aspects de la théorie de la

De plus, Einstein, visiteur très illustre, fut requis par des activités sociales et accaparé par les dignitaires et les notables⁶⁵, plus soucieux d'apparat et de formalités que d'échanges d'idées - surtout scientifiques -, ce qui empêcha probablement des conversations plus spontanées avec de jeunes universitaires. Si quelques uns purent s'entretenir avec lui, ce fut à l'occasion de la visite de leurs institutions, pour exposer leurs travaux propres, orientés sur des sujets plus classiques. Lelio Gama, qui avait participé à l'expédition à Sobral, présenta ainsi, lors de la visite d'Einstein à l'Observatoire national, "la recherche qu'il était en train de faire et qui portait sur une étude de mesures astronomiques visant à déterminer la variation du pôle terrestre"⁶⁶. Il y eut bien quelques échanges hors séances, mais l'on devine qu'il s'agit plutôt de questions anecdotiques posées à Einstein, sans grande discussion. C'est ainsi que l'on trouve, dans les notes du professeur de mathématiques Inacio Azevedo Amaral⁶⁷, mention d'une conversation entre Roberto Marinho de Azevedo et Einstein, où celui-ci aurait indiqué que "le principe de relativité restreinte (...) avait résulté de longues méditations sur l'expérience de Michelson", et où il aurait dit encore que la théorie avait surgi subitement dans son esprit. Ces paroles rapportées indirectement sont sujettes à caution: il faut renvoyer à la genèse des idées d'Einstein, dont l'évocation excède les limites du présent travail⁶⁸.

Le séjour d'Einstein dans la capitale d'alors du Brésil ne fut pas sans suite. Tout d'abord, il réactiva le débat sur les conceptions de la théorie de la relativité qui avait commencé en 1919, et sur lequel nous allons revenir. Selon les scientifiques brésiliens de l'époque, ces discussions, qui eurent lieu principalement à l'Académie brésilienne des sciences, eurent une importance toute particulière en ce qu'elles marquèrent la déroute de ceux qui s'opposaient aux nouvelles idées, non seulement de la physique, mais aussi des mathématiques, identifiés, non sans raisons, aux 'positivistes'. De façon emblématique, les principales attaques contre la théorie de la relativité furent menées sous la bannière de la doctrine d'Auguste Comte par Licínio Cardoso, professeur de mécanique rationnelle à l'Ecole Polytechnique de Rio.

De manière générale, les conceptions positivistes avaient largement imprégné, dès le milieu du dix-neuvième siècle, les milieux scientifiques, mais aussi militaires, juridiques et politiques, par le biais notamment des Ecoles d'ingénieurs, des Ecoles militaires et de celles de médecine et de droit⁶⁹. Rappelons, pour ce qui est des conceptions scientifiques, l'influence durable

relativité générale, il n'en était aucunement spécialiste. Il était même probablement réticent devant les modifications de l'espace et du temps entraînées par la Relativité restreinte aussi bien que générale (voir plus haut sa remarque, à propos du résultat de l'éclipse de 1919).

⁶⁵ Il dut rendre visite au président de la République et à plusieurs ministres, fut invité par la communauté allemande et par le club israélite, etc. (cf. Cafarelli [1979] et Einstein [1925b], archives Einstein).

⁶⁶ Caffarelli [1979]: "Einstein fit quelques suggestions, qui anticipèrent le développement de ces études". C'est sur ce sujet que Lelio Gama soutint sa thèse (Morais [1955]).

⁶⁷ L'information est rapportée par Rogerio Mourão [1987].

⁶⁸ Voir Paty [1993].

⁶⁹ Cf. Azevedo [1947], Arbousse-Bastide [1956], Lins [1964], Cruz Costa [1967], Arantes [1988].

qu'eurent sur la formation des ingénieurs - seule formation scientifique alors disponible au Brésil, avant la création des universités - les gros manuels de mathématiques du maréchal Trompowski, en vigueur dans les années 1900, conçus selon une stricte orthodoxie comtienne - celle de la *Synthèse subjective* du fondateur du positivisme et des cours de son disciple Pierre Lafitte⁷⁰.

L'influence de ce positivisme, fût-il "à la brésilienne" - sur les sciences était cependant déjà bien atténuée à l'époque qui nous occupe. Les mathématiciens et les physiciens les plus au fait des développements récents de leur science avaient suivi, à l'instar d'Amoroso Costa qui fut son disciple, les leçons d'Oto de Alencar qui critiqua, vers le tournant du siècle, la conception comtienne des mathématiques et ses erreurs⁷¹. Le coin enfoncé avait largement ébranlé le carcan de la conception positiviste d'une science à la mesure des ingénieurs. Les débats suscités par la théorie d'Einstein et stimulés par la visite du savant achevèrent la libération, ouvrant la porte au développement de la recherche dans ces matières fondamentales.

Enfin, autre effet de la visite d'Einstein - plus anecdotique, mais non dénué de signification -, il fut décidé, dans l'animation et l'enthousiasme qui suivirent le séjour du célèbre savant, d'instituer un "Prix Einstein", qui serait décerné par l'Académie brésilienne des sciences. Le premier le fut, pour l'année 1931 - avec retard, en 1933 - au biologiste Miguel Osorio de Almeida⁷²: par où l'on voit que la portée de l'événement alla, bien-au-delà de la seule physique, vers la science et la recherche en général.

3

LA RECEPTION DE LA THEORIE DE LA RELATIVITE AU BRESIL

La réception de la théorie de la relativité se fit par la diffusion de textes imprimés - articles parus dans des périodiques, libelles et livres qui se multipliaient alors sur la théorie et ses implications, sans oublier les ouvrages d'Einstein, souvent dans les traductions disponibles en français, parvenues dans plusieurs pays d'Amérique latine dès avant 1920 -, ainsi qu'à travers des exposés d'information, explicatifs ou critiques, des conférences ou des cours. On peut distinguer deux périodes dans la réception de la relativité en Amérique latine

⁷⁰ Par exemple, Trompowski [1903]. Voir Comte [1856], Lafitte [1875]. Cf. Paty [1992a].

⁷¹ Alencar [1898].

⁷² La proposition d'instituer un "Prix Einstein, médaille d'or et diplôme" fut faite par Mario de Andrade Ramos, et le règlement en fut adopté le 23 décembre 1928 (Archives Academia Brasileira de Ciências).

comme dans le reste du monde: avant la grande vogue de la théorie d'Einstein consécutive à l'annonce du résultat sur la courbure des rayons lumineux obtenu lors de l'observation de l'éclipse de 1919, confirmant la prédiction de la Relativité générale, et après - cette deuxième phase de la réception, la plus intense, ayant été conclue pour l'essentiel par une acceptation générale des nouvelles conceptions, et la marginalisation des opposants irréductibles.

La première période ne se perçoit que dans les pays où une recherche scientifique significative et structurée existait déjà en mathématiques et en physique. Ce n'était pas encore le cas du Brésil, mais c'était celui de l'Argentine, dont les universités importantes et les grandes institutions de recherche furent développées ou fondées, en quelque sorte, comme des excroissances des grands centres européens: la théorie de la relativité avait déjà connu une certaine diffusion en Argentine avant 1919, et les géométries non euclidiennes y furent divulguées dès le tournant du siècle⁷³.

Dans le cas de l'Argentine et du Brésil, la deuxième période peut être encore dissociée en deux, avant le voyage d'Einstein et après, en raison des effets de stimulation que ce séjour eut sur les communautés scientifiques encore jeunes. On distinguera également la réception dans le public en général (essentiellement par les effets de la presse) et chez les scientifiques. C'est à cette dernière que nous nous cantonnerons ici.

La réception d'une connaissance nouvelle dans des milieux donnés s'effectue, par-delà le simple enregistrement des attitudes d'acceptation ou de refus, selon des modalités particulières à chacune des situations considérées - ce qui fait pressentir l'intérêt d'analyses comparatives des circonstances et des conditions de la réception⁷⁴. Les textes et les débats qui marquent ces circonstances sont révélateurs des conceptions et des 'styles', liés à la formation et à la pratique des différents acteurs : celles-ci transparaissent dans les aspects conceptuels mis en avant et discutés et dans les interprétations qui les accompagnent, qui se rattachent, en dernier ressort, à ce que l'on entend par "intelligibilité", ainsi qu'aux représentations et aux "visions du monde" en général. La réception scientifique se double - cela est notoire dans le cas de la théorie de la relativité - d'une réception philosophique et d'un débat d'idées, d'ailleurs apparemment plus facile à vulgariser, quoiqu'il l'ait été souvent de façon caricaturée et déformée, tels des reliefs de débats réels qui auraient été jetés au pâtre au grand public⁷⁵. Quoiqu'il en soit, les discussions scientifiques elles-mêmes portent la trace des conceptions philosophiques implicites de leurs protagonistes.

Au Brésil et en Argentine, comme dans les autres centres universitaires du monde, la théorie d'Einstein fut d'abord l'objet d'exposés et de débats entre physiciens et mathématiciens. Dans l'ensemble, les textes émanant

⁷³ Paty [en prép., a].

⁷⁴ Sur la réception de la Relativité dans différents pays, cf. Glick [1987]. Pour la comparaison entre l'Argentine et le Brésil, nous reportons au travail mentionné (Paty [en prép., a]).

⁷⁵ Voir plus loin, à ce propos, les remarques de Luiz Freire sur les dangers de la vulgarisation en la matière.

d'universitaires furent plus favorables que critiques⁷⁶. Dans le Brésil des années vingt, les partisans de la théorie, qui constituaient une composante importante et significative de la communauté scientifique de l'époque, ne lui ménageaient pas un enthousiasme militant. Mais ils se heurtèrent à de vives réticences de la part de certains enseignants qui marquaient un attachement dogmatique à une conception figée de la mécanique classique, aussi bien que d'ingénieurs ou de lettrés adeptes intransigeants du positivisme d'Auguste Comte - et ces deux catégories se confondaient parfois dans les mêmes personnes. Nous évoquerons tout d'abord les exposés, publications et débats qui eurent lieu dans ce pays au cours de la période la plus significative de la réception de la théorie de la relativité - de 1919 à 1926, pour l'essentiel -, puis nous nous attacherons à une analyse du contenu de quelques textes et discussions, pour en dégager des caractéristiques qui puissent être rapportées à des traits de "style" liés à des "traditions scientifiques" et révélateurs d'influences reçues⁷⁷.

Les exposés et les débats sur la théorie de la Relativité commencèrent, au Brésil, en 1919, année de l'observation de l'éclipse⁷⁸. Le 7 juin de cette année-là, le physicien Roberto Marinho de Azevedo⁷⁹ présenta à la Sociedade Brasileira de Ciencias - la future Académie - une communication sur le principe de Relativité, qui fut approuvée pour publication sur la suggestion d'Amoroso Costa⁸⁰. Ce dernier fit lui-même paraître, la même année, un exposé pour le grand public, "A teoria de Einstein", dans le quotidien *O Jornal* - revenant sur le sujet en 1922 dans le même périodique, ainsi que dans d'autres publications, et donnant un petit livre d'introduction à la théorie⁸¹. En 1920, comme nous l'avons mentionné précédemment, Henrique Morizé présenta dans la revue de la future Académie des sciences⁸² - la *Revista de Ciencias* -, les résultats des observations de la commission brésilienne de l'éclipse solaire de 1919, évoquant la courbure des rayons lumineux et la théorie d'Einstein⁸³.

Dans sa communication du 7 juin 1919 à l'Académie sur le principe de relativité, Roberto Marinho de Azevedo, selon le résumé manuscrit consigné dans les Actes, rappela "comment surgit ce principe", avec "la théorie de Maxwell pour les corps au repos, celle de l'électrodynamique de Hertz pour les corps en mouvement et celle des électrons de Lorentz", et "se rapporta aux travaux d'Einstein, de Minkowski, ainsi qu'à la possible déviation des rayons lumineux provenant d'étoiles, due à l'action du Soleil". "Hypothèse", soulignait le compte-rendu, "qui constitue l'un des points essentiels du programme de la commission

⁷⁶ Comme le remarque, pour le cas du Brésil, Alves [1994]. Voir aussi Alves [1991].

⁷⁷ Sur ces notions, voir Paty [1989].

⁷⁸ Voir la bibliographie sur la Relativité au Brésil établie par Ildeu Moreira [1990].

⁷⁹ Roberto Marinho de Azevedo (1878-1962).

⁸⁰ Azevedo [1920]. Voir Sociedade Brasileira de Ciencias, *Atas das Sessões da Seção de Ciencias matematicas*, 1919 (Archives, Academia Brasileiras de Ciências, Rio de Janeiro). D'ordinaire, les titres des communications seulement étaient mentionnés dans les *Actes*.

⁸¹ Costa [1919, 1922a, b, c, d].

⁸² Sur l'histoire de l'Académie brésilienne des sciences, voir Silva Pinto [1984], Paulinyi [1981].

⁸³ Morizé [1920]. Voir plus haut.

anglaise venue observer l'éclipse totale du Soleil le 29 mai dernier", ce dont nous avons parlé plus haut. Le texte correspondant de Roberto Marinho de Azevedo fut publié en deux parties dans la *Revista de Ciencias*, en 1920⁸⁴. On notera que huit ouvrages d'actualité sur la théorie de la relativité y sont cités, l'auteur étant très au fait de la littérature sur le sujet⁸⁵. Roberto Marinho de Azevedo fit également paraître un article de divulgation sur le même thème en 1921⁸⁶, et y revint ultérieurement.

La Relativité occupa plusieurs sessions de l'Académie, notamment en 1922, avec une conférence du mathématicien français Emile Borel - le 19 septembre⁸⁷. Ce jour-là, en effet, la Sociedade Brasileira de Ciências tint une session solennelle à l'occasion du centenaire de l'indépendance politique du Brésil. Réunie dans la salle du conseil⁸⁸ de l'Escola Politécnica de Rio, l'honorable assemblée entendit Emile Borel, membre de l'Académie des sciences de Paris, en présence de l'Ambassadeur de France⁸⁹. Henrique Morizé, à qui il était revenu de présenter le mathématicien français à l'assemblée, insista sur l'importance de la théorie de la relativité, objet de la communication de Borel. Ce dernier était membre de la mission scientifique française venue participer aux commémorations du centenaire, et avait lui-même donné à l'Académie des sciences de Paris plusieurs contributions de physique mathématique sur la théorie de la relativité générale, où il s'interrogeait notamment sur la signification physique des éléments spatiaux de la métrique de l'espace-temps⁹⁰. Borel s'appuyait sur les idées de Poincaré concernant les rapports de la géométrie et de la physique pour faire valoir que l'élément invariant de distance dans l'espace-temps, ds^2 , peut être vu soit de façon purement géométrique et abstraite (ou encore axiomatique), soit de manière physique et concrète (ou encore pratique)⁹¹. Devant l'Académie brésilienne, Borel prit la parole sur le sujet "La théorie de la relativité et la courbure de l'Univers"⁹².

⁸⁴ Azevedo [1920].

⁸⁵ Il avait dans sa bibliothèque "tout ce qu'il y a de meilleur sur la relativité", au dire de F.M. de Oliveira Castro [1955].

⁸⁶ Azevedo [1921]. Le même article, "A teoria da relatividade de Einstein", parut dans la *Revista Brasileira de Engenharia* et dans la *Revista do Brasil* de São Paulo.

⁸⁷ Archives de l'Académie brésilienne des sciences.

⁸⁸ "Congregação".

⁸⁹ Georges Dumas, dont on sait l'importance dans les échanges culturels franco-brésiliens d'alors (cf. p. ex., Petitjean [1988, 1991]), était également présent.

⁹⁰ Borel [1922a et b]. Voir Paty [1987].

⁹¹ Ces caractérisations sont également discutées par Einstein dans son texte sur la géométrie et l'expérience (Einstein [1921a]). La remarque de Borel nous rappelle la distinction, rapportée plus haut, faite par Eddington et reprise par H. Morizé, sur la signification du ds^2 pour la *théorie* de la gravitation d'Einstein, par opposition à sa *loi*.

⁹² Les registres de l'Académie indiquent le titre en portugais: "A teoria da relatividade e a curvatura do Universo". La communication ne fut pas publiée, en raison des difficultés de parution de la *Revista de Ciencias*, mais Borel avait présenté un travail sur le même sujet à l'Académie des sciences de Paris (Borel [1921]).

La communication de Borel fournit à Amoroso Costa⁹³ l'occasion de présenter lui-même quelque temps après - le 20 octobre - une note sur la théorie d'Einstein, suscitée par certaines considérations du mathématicien français qu'il reprenait de manière critique : "A proposito de uma nota do Sr Borel"⁹⁴. Il attirait l'attention sur le fait qu'un univers newtonien de champ infini possède cette propriété mathématique gênante que le potentiel en chaque point est infini, alors que l'univers fini d'Einstein ne présente pas un tel inconvénient. Mais Borel, à qui il avait communiqué sa remarque, faisait valoir que l'on peut toujours redéfinir la masse de façon à obtenir un potentiel fini⁹⁵. Amoroso Costa montrait cependant qu'une autre condition était nécessaire et que la difficulté persistait donc. Emile Borel inséra la remarque d'Amoroso Costa dans une note qu'il présenta à l'Académie de Paris peu après son retour⁹⁶. Amoroso Costa eut d'ailleurs quelques années plus tard l'occasion d'exposer lui-même ces considérations sur l'univers newtonien infini, au séminaire du mathématicien Jacques Hadamard au Collège de France, où il fut invité en 1928⁹⁷.

Amoroso Costa donna par ailleurs, aux mois de mai et de juin 1923, quatre conférences sur la Relativité à l'Ecole polytechnique de Rio, qui firent la matière de son petit livre, *Introdução à teoria da relatividade*, dont nous reparlerons⁹⁸.

Le 25 août 1923, il lut devant les académiciens une communication de son élève Teodoro Ramos, ingénieur formé à l'Escola Politécnica de Rio et professeur titulaire de la chaire de mécanique rationnelle à l'Escola Politécnica de São Paulo, sur la Relativité générale et le décalage vers le rouge des raies du spectre de l'hydrogène. Ce travail est généralement considéré comme la première recherche vraiment originale faite au Brésil sur la théorie de la relativité; sans doute peut-on également le considérer comme la première publication, au Brésil, d'un article de physique théorique à proprement parler⁹⁹. D'abord imprimé dans la revue de l'Ecole Polytechnique de São Paulo, le texte de Teodoro Ramos ne fut publié par l'Académie qu'en 1929¹⁰⁰.

⁹³ Sur Manoel Amoroso Costa (1885-1928), voir Freire [1930], Gama [1929], Ramos [1929], Santos Reis [1949].

⁹⁴ Costa [1922e]. Voir Ramos [1929a].

⁹⁵ Amoroso Costa avait mentionné la remarque de Borel dans son article de *O Jornal*, dans lequel il présentait le mathématicien français au grand public brésilien: Costa [1922f].

⁹⁶ Borel [1922b].

⁹⁷ Il prononça sa conférence, qui avait pour titre "L'univers infini. Quelques aspects du problème cosmologique", le 23 mars 1929. Amoroso Costa donna en outre, à l'occasion du même séjour en France, où il avait été invité par l'Institut Franco-brésilien de Haute Culture, une série de quatre conférences à la Sorbonne sur *Les géométries non archimédiennes*. Ce fut encore Hadamard qui le présenta aux auditeurs en introduisant ses conférences.

⁹⁸ Costa [1922c]. Voir plus bas.

⁹⁹ Voir plus bas.

¹⁰⁰ Ramos [1923]. Parmi les ouvrages cités dans son travail par Teodoro Ramos, on relève celui, désormais classique, du physicien allemand Arnold Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien*, dans sa traduction en français, et le livre du physico-mathématicien relativiste belge Th. de Donder, *La gravifique einsteinienne*. Teodoro Augusto Ramos devait être par ailleurs l'un des premiers physiciens brésiliens à enseigner la mécanique quantique. Ses cours sur ce sujet furent publiés dans

Signalons encore la parution en 1923, dans la *Revista de Engenharia* de Rio de Janeiro, peut-être en corrélation avec le passage de Borel l'année précédente, de la traduction d'un article de Paul Painlevé publié en 1922 dans les *Compte-rendus* de l'Académie des Sciences de Paris¹⁰¹. La présence de la conjonction Borel-Painlevé dans les circonstances de la réception brésilienne de la relativité est intéressante à relever. Elle est révélatrice de l'influence du courant de physique mathématique dans la tradition française, marqué par sa filiation à Poincaré, tout en différant de la manière de ce dernier. Poincaré, qui fut en la matière autant physicien théoricien que physicien mathématicien, avait contribué de manière importante à l'élaboration des idées relativistes, tout en étant réticent à l'égard de la formulation de la théorie telle qu'Einstein l'avait proposée, en rupture trop forte à ses yeux avec certaines conceptions de la mécanique classique et de la géométrie¹⁰².

Borel et Painlevé, comme la grande majorité des mathématiciens et physico-mathématiciens français vers 1920-1922, étaient favorables à la théorie de la relativité générale ainsi qu'aux relations de la relativité restreinte¹⁰³, tout en émettant des réserves sur leurs interprétations en termes de géométrie et de signification physique de l'espace et du temps. Ils tinrent un rôle important dans la réception scientifique de la Relativité en France, où le terrain avait été, peut-on dire, préparé chez les mathématiciens par les travaux de Poincaré¹⁰⁴. Toutefois, la théorie d'Einstein fut comprise selon une interprétation - caractéristique de la physique mathématique - où la forme mathématique de l'édifice, remarquable par son esthétique, est juxtaposée à des résultats empiriques bien plutôt qu'intégrée dans une construction théorique : d'où le caractère problématique, dans une telle perspective, de l'interprétation des concepts fondamentaux en jeu.

D'abord mitigée, pour cette raison, l'acceptation de la théorie d'Einstein fut complète chez les mathématiciens français dès que se termina la phase très active des débats à l'Académie des sciences de Paris, d'ailleurs consécutive également à un séjour d'Einstein dans la capitale française, en 1922¹⁰⁵. On ne saurait, cependant, trop insister sur l'importance, pour l'acceptation en France de la théorie dans le sens d'Einstein, des enseignements et des arguments développés dès 1906 par Paul Langevin, l'un des rares physiciens de ce pays à être à la fois théoricien et expérimentateur, tout en étant relié aux

le *Boletim do Instituto de Engenharia* de São Paulo en 1931 et 1932. Sur Teodoro Ramos (1896-1936), cf. Fonseca Telles [1936], Freire [1935].

¹⁰¹ Painlevé [1923]. Ce texte est la traduction en portugais de l'article de Painlevé [1922]: sur ce dernier, voir Paty [1987].

¹⁰² Poincaré mourut en 1912. Sur ses contributions à la Relativité restreinte et à une théorie relativiste (au sens restreint) de la gravitation, voir Paty [1985], [1987], [1992c], [1993] et [à paraître, b].

¹⁰³ Ces dernières se trouvent également contenues dans la version proposée, indépendamment d'Einstein, par Poincaré en 1905 (Poincaré [1905a et b]).

¹⁰⁴ Travaux dont, d'ailleurs, Einstein retrouva l'esprit, de son propre aveu, avec la théorie de la relativité générale et le poids qu'il donna dès lors à l'entraînement de la forme mathématique dans le raisonnement physique (cf. Paty [1993], chapitre 5, et [en prép., b]).

¹⁰⁵ Paty [1980], [1985], [1987] et [1993a], chapitre 5.

mathématiciens - Elie Cartan, par exemple, qui donna au cours des années vingt des contributions importantes de physique mathématique aux développements de la théorie de la relativité générale, avait suivi son enseignement au Collège de France¹⁰⁶.

Revenons aux débats de l'Académie brésilienne des sciences. Ils reprirent à la suite du passage d'Einstein, et occupèrent les séances des 28 mai, 10 juin, 24 juin et 8 juillet 1925. Aussitôt après le départ d'Einstein, Licínio Cardoso, médecin et ingénieur, professeur de mécanique rationnelle à l'Ecole polytechnique de Rio, et "représentant le plus extrême de l'école positiviste" selon R. Caffarelli¹⁰⁷ - ce qui est exact à condition de préciser qu'il s'agit d'un positivisme comtien "à la brésilienne" dans le sens orthodoxe¹⁰⁸ -, publia, le 16 mai, dans la grande presse, un article intitulé "Relativité imaginaire" ("Relatividade imaginaria"), dans lequel il manifestait une opposition irréductible à la théorie d'Einstein. Il lut ensuite son article à l'Académie à la séance du 28 mai. Les arguments qu'il développait étaient proches de ceux invoqués par les physiciens mécaniciens français Daniel Berthelot, Léon Lecornu ou Henri Bouasse, qui faisaient partie, quelques années auparavant, du front antirelativiste dans l'université française¹⁰⁹. Cardoso opposait la "science abstraite" et la "science concrète", et tout son raisonnement est marqué par une inaptitude à concevoir que l'addition des vitesses puisse ne pas avoir la forme galiléenne.

La réplique à Licínio Cardoso ne se fit pas attendre: Adalberto Menezes, Alvaro Alberto et Inácio do Amaral, ainsi que Roberto Marinho de Azevedo, partisans de la relativité, s'exprimèrent à l'Académie au cours des séances suivantes¹¹⁰, Licínio Cardoso continuant à tenir son rôle d'opposant.

Les débats sur la théorie de la relativité furent nourris d'autres contributions. Certaines, pour provenir d'un autre centre que ceux de l'axe Rio-São Paulo, n'en furent pas moins pertinentes et importantes pour le développement ultérieur des sciences physiques et mathématiques au Brésil. Tel fut le cas de celles de Luiz Freire, à Recife, qui publia un bref article en 1924, sur "Un aspect curieux de la théorie de la relativité" et qui, la même année, professa une série de cours à l'Ecole d'ingénieurs et donna au Gabinete Português de Leitura une conférence restée inédite¹¹¹. Il rédigea plus tard d'autres articles en

¹⁰⁶ Paty [1987].

¹⁰⁷ Caffarelli [1979].

¹⁰⁸ Cf. Paty [1992a].

¹⁰⁹ Voir Paty [1987]. Licínio Cardoso avait en sa possession, entre autres, l'ouvrage de Christian Cornelissen, *Les hallucinations des einsteiniens, ou les erreurs de méthode chez les physiciens mathématiciens*, Blanchard, Paris, 1923 (un exemplaire de cet ouvrage fait partie de la donation Licínio Cardoso à l'Escola de Engenharia de Rio, et se trouve à la Bibliothèque des livres rares, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro).

¹¹⁰ Voir *Revista da Academia Brasileira de Ciências*, 1926.

¹¹¹ Freire [1924a et b], [1926]. Sur Luiz de Barros Freire (1896-1963), voir Freire et Hamburger [1988]. Je remercie Ivone Freire de Mota e Albuquerque et Amelia Império Hamburger de m'avoir aimablement communiqué le manuscrit de la conférence de 1924. Ce manuscrit mentionne les cours professés par ailleurs par Luiz Freire à l'Ecole d'ingénieurs, où il devait aborder la théorie de Lorentz et celle d'Einstein.

relation au sujet, souvent suscités par la publication en Europe d'ouvrages ou de pamphlets sur la Relativité, qu'il présentait et critiquait à l'intention des lecteurs du Bulletin de l'Ecole d'ingénieurs de Recife. C'est ainsi que le libelle de Bouasse, *La question préalable contre la théorie d'Einstein*, paru en France en 1923, fit en 1926 l'objet d'un commentaire critique de sa part¹¹².

Nous ne pouvons ici tout citer. Mentionnons cependant encore un gros ouvrage, publié à Belo Horizonte en 1932, due à la plume de Pedro Roche¹¹³, et qui constitue un bon exposé de la théorie de la relativité, où l'insistance est portée sur les aspects mathématiques.

Quant aux opposants à la théorie, ils continuèrent à publier leurs critiques et leurs pamphlets polémiques, tels l'ingénieur militaire Affonso Barrouin et son *Illusion des einsteiniens, ou La relativité d'Einstein et la relativité de Galilée*, livre publié en 1925, dont l'auteur adressa d'ailleurs un exemplaire avec dédicace à Lícínio Cardoso¹¹⁴. L'ouvrage n'a rien de scientifique, proposant une "relativité universelle de l'humanité et du monde", et dénonçant "l'erreur dont il faut débarrasser l'opinion de ceux qui s'occupent de cette nouveauté scientifique si fallacieuse". La relativité d'Einstein était coupable, entre autres méfaits, "d'être restreinte et purement matérielle", quand il faudrait considérer d'autres relativités que la mécanique, même conçue comme base des phénomènes physiques et astronomiques : à savoir, des relativités arithmétique, algébrique, géométrique, mais aussi chimique, biologique, sociale, morale, au motif que "tout dans l'ordre naturel et scientifique est indissociablement lié"¹¹⁵.

L'amiral Gago Coutinho fut un autre opposant notoire à la Relativité : ce pionnier de l'aviation rédigea un livre contre la théorie d'Einstein, qu'il fit éditer en 1926 au Portugal, à Coimbra.

4

EXPOSES DES CONCEPTIONS DE LA RELATIVITE

¹¹² Freire [1926]. Cf. Bouasse [1923].

¹¹³ Roche [1932]. Je remercie Luiz Alberto Rocha Barros de m'avoir fait connaître l'existence de ce livre et permis de le consulter.

¹¹⁴ Barrouin [1925]. *A ilusão de Einstein (l'illusion d'Einstein), ou A relatividade de Einstein e a relatividade de Galileu (La relativité d'Einstein et la relativité de Galilée)*, Ribeiro dos Santos ed., Rio de Janeiro, 1925. La fin de l'ouvrage - au titre bilingue - est rédigée en français. L'exemplaire dédicacé à Lícínio Cardoso se trouve à la Bibliothèque des livres rares, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro. Je remercie Ildeu Moreira pour m'avoir piloté à travers les rayons de cette bibliothèque, riche d'ouvrages précieux - et notamment en classiques de la science en français -, ainsi que pour des discussions toujours fécondes.

¹¹⁵ L'auteur en appelle encore à la stimulation des "tentatives scientifiques et industrielles", au "nationalisme et aux maîtres d'école de l'enseignement primaire à l'image de l'Allemagne", ainsi qu'au "principe de Bonté universelle" de Diderot repris par Comte, et évoque encore Cavour, Mussolini et Lénine ... Mais arrêtons ici l'évocation de ces délires d'un encyclopédisme et d'un éclectisme oecuménique étranges.

STYLES ET TRADITIONS

Il existait au Brésil, dès le début du siècle, un courant de physique mathématique, à travers lequel la physique théorique s'imposa peu à peu¹¹⁶. Ce courant était très influencé par la tradition de la physique mathématique française, de Poincaré à Painlevé, Picard et Borel. La réception de la théorie de la relativité présente à cet égard d'intéressantes analogies avec celle qui eut lieu en France vers la même époque, comme nous l'avons déjà laissé entendre à l'évocation de quelques circonstances. Nous voudrions examiner maintenant quelques textes contemporains des années 1920, dus à des auteurs appartenant à des aires culturelles différentes tels que Amoroso Costa et Luis Freire, pour le Brésil, en les mettant en regard des présentations de la théorie faites, par exemple, par Einstein lui-même, par Paul Langevin ou par Emile Borel, ces deux derniers représentant en France deux attitudes différentes - favorables - à l'égard de la théorie. Ces comparaisons, dont nous nous contenterons ici d'esquisser quelques traits, révèlent des spécificités de style scientifique (notamment par les thèmes sur lesquels est mis l'accent), et permettent de mettre en évidence comment la naissance d'une physique théorique brésilienne reproduit avec un certain décalage, et en même temps avec d'intéressantes originalités, la "voie française" de la physique théorique de l'époque, c'est-à-dire, en vérité - à l'exception près de Langevin -, celle des physico-mathématiciens.

Considérons, par exemple, le petit livre dans lequel Amoroso Costa exposa, en 1922, les idées essentielles de la théorie de la relativité¹¹⁷. Il est intéressant d'examiner la manière dont la théorie y est présentée, en ayant à l'esprit, par comparaison, d'autres ouvrages de volume semblable et parus vers la même époque : les conférences d'Einstein à Princeton en 1921¹¹⁸, un opuscule de Paul Langevin datant de 1919, publié d'abord en forme d'article puis paru en librairie en 1921¹¹⁹, un autre d'Emile Borel paru l'année suivante¹²⁰; ou encore en se souvenant des diverses manières d'argumenter sur les concepts de la théorie, sa formulation mathématique, son rapport à l'expérience, telles par exemple qu'elles se sont confrontées à l'Académie des sciences de Paris en 1920-1923¹²¹. Rappelons en outre que les arguments des opposants à la relativité, ceux par exemple de Licínio Cardoso, sont très semblables à ceux de leurs homologues français : la fidélité aux concepts fondamentaux de la physique classique prend les mêmes formes, chez ce professeur de Mécanique (par ailleurs disciple de Comte) et chez un Léon Lecornu, titulaire de la chaire de Mécanique en Sorbonne¹²². On

¹¹⁶ Cf. Paty [1992a].

¹¹⁷ Costa [1922c].

¹¹⁸ Einstein [1921b]. Voir aussi son ouvrage de vulgarisation, Einstein [1917].

¹¹⁹ Langevin [1919].

¹²⁰ Borel [1922c].

¹²¹ Paty [1987].

¹²² Lecornu [1922].

risquera à ce propos l'idée que l'influence disciplinaire est, en cette matière, au moins aussi marquante que l'idéologie.

Parmi les partisans des idées relativistes, on observe des différences entre les physico-mathématiciens (souvent sceptiques, d'ailleurs, dans les débats en France, tel Emile Picard¹²³, avant d'être convaincus par Einstein lui-même, comme le fut Paul Painlevé), et les physiciens théoriciens à proprement parler : Borel étant un exemple des premiers, Langevin des seconds. Les uns et les autres offraient une lecture différente de la théorie : elle était, pour les premiers, un édifice de nature mathématique, et ils s'intéressaient essentiellement aux particularités de sa forme mathématique ; pour les autres, au contraire, c'était une théorie physique avant tout, et ils insistaient sur le sens physique des concepts : voir, en particulier, les interprétations différentes que les uns et les autres donnaient ainsi de l'élément invariant ds^2 des lignes d'univers¹²⁴.

Tout en étant un partisan sans faille de la théorie, Amoroso Costa la présentait plutôt, pour sa part, selon les canons de la physique mathématique, insistant sur l'exposé du formalisme puis développant les idées selon la voie déductive, que selon ceux privilégiés par exemple par un Langevin, qui développait surtout le sens physique des concepts employés¹²⁵. L'aspect conceptuel proprement dit est évoqué pour l'essentiel, chez Amoroso Costa, dans la présentation historique, ce qui est en quelque sorte sa manière de concilier les deux exigences.

Le texte d'Amoroso Costa présente par là une originalité dans la littérature - fort abondante - de l'époque sur le sujet. En même temps, il témoigne d'une influence et de son décalage contextuel. Cette influence est celle de la voie française de la physique mathématique, dans la manière de comprendre et de présenter la théorie - une théorie qui est acceptée d'emblée sans réticences ni réserves, suivant Borel plutôt que Picard ou Painlevé. Comme autre note d'originalité, signalons la référence faite aux contributions de Poincaré en ce qui concerne la relativité du temps et de l'espace, généralement oubliées en 1922, où l'on retenait plutôt le souvenir d'une opposition du grand mathématicien à la théorie d'Einstein : elle marque aussi à sa manière la filiation. Les physico-mathématiciens français partisans de la relativité étaient, nous l'avons dit, empreints de l'oeuvre de Poincaré, dont ils avaient fait une sorte de synthèse avec la théorie d'Einstein, à la faveur des enseignements de Langevin au Collège de France.

On remarque cependant, dans les références des textes d'Amoroso Costa et d'autres scientifiques brésiliens de cette époque sur la Relativité, une absence étonnante : le nom de Langevin, précisément, alors qu'il fut en France celui qui enseigna la théorie de la relativité aux physiciens comme aux

¹²³ Signalons la publication, dans les années vingt, d'une traduction en portugais d'un ouvrage de Picard : *A ciência moderna e seu estado actual* (2a ed., sans nom de traducteur ni date), dans la "Bibliotheca de filosofia científica" des librairies Aillaud, Alves et Bertrand (de Paris et Lisbonne) et Francisco Alves (de Rio, São Paulo et Bello Horizonte).

¹²⁴ Cf. Paty [1987].

¹²⁵ Voir Langevin [1919], [1920] ainsi que les textes repris dans [1923].

mathématiciens. Mais les voies de la transmission au Brésil furent décidément celles des mathématiciens pris comme sources premières - outre quelques ouvrages, plus rares, parvenus par des canaux différents, comme la traduction en français de textes d'Einstein en 1921, une traduction en espagnol de 1921 du livre du physicien et philosophe autrichien Moritz Schlick sur l'espace et le temps (paru en 1917, et fort prisé par Einstein)¹²⁶ : Amoroso Costa s'en inspira également. D'une manière générale, Langevin semble assez peu connu au Brésil jusqu'au milieu des années vingt, et ne paraît pas avoir eu une influence directe sur la première génération des physiciens théoriciens que nous avons évoquée, du moins celle qui se forma à Rio de Janeiro ou São Paulo¹²⁷.

Ceci confirme que la voie brésilienne de la physique théorique naissante fut, pour une grande part, celle de la physique mathématique "à la française". La physique mathématique, en effet, avait, en France même, constitué le principal canal d'accès à une physique théorique qui y parvenait mal à trouver sa place entre les mathématiques, pures et appliquées, et la physique expérimentale.

Les scientifiques brésiliens, formés dans les écoles d'ingénieurs à un savoir classique et pratique, étaient autodidactes en ce qui concerne les connaissances relativement récentes en mathématiques et en physique : leur voie d'accès à la physique fut essentiellement celle des ouvrages universitaires et des revues en langue française, qui étaient généralement dissociées en physique mathématique d'un côté et physique expérimentale de l'autre, à l'image de la physique française d'alors. Leur connaissance de la théorie physique provint donc avant tout de la physique mathématique. La tendance proprement théorique représentée par Langevin était demeurée extérieure au canaux universitaires normaux, puisqu'il enseignait au Collège de France ; il n'est donc pas étonnant qu'elle n'ait pas eu d'influence directe, du moins jusqu'à une certaine période¹²⁸. Ce courant devait néanmoins s'avérer d'une importance décisive pour le

¹²⁶ Cf. Schlick [1917], et sa traduction en espagnol, de 1921.

¹²⁷ Paul Langevin ne vint qu'une seule fois au Brésil, en 1928, sur le chemin de retour de Buenos Aires en France : il n'y resta que peu de jours, et donna deux conférences à l'Association brésilienne d'éducation. Le *Boletim da Associação Brasileira de Educação*, Ano V, n° 13, maio de 1929, dans sa "Section de l'enseignement technique et supérieur", fait état (p. 35) du séjour de Langevin à Buenos-Aires, de son passage au Brésil, et de ses conférences à Rio de Janeiro. L'une portait sur "Les origines de l'énergie solaire" et elle a à voir avec la théorie de la relativité dans la mesure où la relation masse-énergie ($E = mc^2$) est concernée, l'autre sur "Les ultrasons et leurs applications" (un sujet, souligne à juste titre le rédacteur anonyme, "sur lequel sa contribution personnelle est considérable"). La chronique du *Boletim* décrit Langevin comme un savant "qu'il n'est pas besoin de présenter", "bien connu par ses nombreux travaux de physique et introducteur de la théorie d'Einstein en France". Le passage du savant français est également mentionné dans l'"Agenda" du *Jornal do Commercio* de Rio pour sept. 1928. Le même *Jornal do Commercio* publia, en date du 21.9.1929, une biographie de Langevin et le titre de ses conférences.

¹²⁸ La revue *Movimento brasileiro* (primeiro ano, n°1, outubro 1928, p. 7), en mentionnant les deux conférences données par Langevin à l'Associação Brasileira de Educação, rappelait qu'il avait été le premier à donner un cours au Collège de France, en 1911, sur la relativité; et qu'il fournit au philosophe français Emile Meyerson, dès 1922, toutes les informations et indications utiles pour ce dernier, qui développa son interprétation réaliste de la théorie de la relativité dans son ouvrage *La déduction relativiste* (Meyerson [1925]).

développement de la physique théorique en France même.

Cette constatation nous renvoie, dans l'évaluation des influences et des décalages, à l'importance des voies institutionnelles, de l'imprimé et des échanges. Il convient de souligner que l'influence ne fut pas une simple copie, et que les physico-mathématiciens brésiliens s'intéressaient plus directement aux aspects proprement physiques des théories considérées que leurs homologues et inspireurs français.

On doit souligner, à cet égard, l'importance du travail original de Teodoro Ramos mentionné plus haut sur le déplacement des raies spectrales dans un potentiel de gravitation en théorie de la relativité générale¹²⁹ : il est symptomatique d'un déplacement d'intérêt au sein d'une nouvelle génération de scientifiques, l'attention se portant désormais, plutôt qu'à des questions de physique mathématique jusqu'alors privilégiées, à des problèmes de physique théorique au sens propre, tels que ceux des propriétés du rayonnement lumineux émis par les atomes et soumis à des champ de forces. Mais cette tendance ne se développera vraiment que plusieurs années après, sous l'impulsion, entre autres, du même Teodoro Ramos qui acquerra un rôle institutionnel important dans l'organisation de la recherche et de l'enseignement des sciences physiques et mathématiques au Brésil, notamment à la faveur de la création, dans les années trente, de l'Université de São Paulo. Mais elle ne se fait pas voir directement dans les débats, Teodoro Ramos n'étant d'ailleurs pas intervenu dans les discussions sur les questions conceptuelles et d'interprétation, auxquelles il ne s'intéressait que très modérément¹³⁰.

Relevons toutefois, à propos de Langevin, que, dans une situation périphérique par rapport à la capitale du Brésil, et donc dans une tradition peut-être quelque peu différente, ses conceptions sont invoquées dans une des conférences, mentionnées plus haut, du jeune professeur de physique Luiz Freire, données à Recife en 1924 (Luiz Freire, dont le rôle devait être considérable pour la formation de plusieurs générations de chercheurs de qualité, à partir des années trente¹³¹). Dans la première de ses conférences sur "Les théories d'Einstein", Luiz Freire brossait une présentation d'ensemble de la théorie, dans l'idée de montrer que les aspects qui en paraissent à première vue étonnants sont en fait tout à fait raisonnables. Il citait alors, à l'appui de ses remarques, une phrase de Paul Langevin selon laquelle "les théories d'Einstein nous ouvrent une nouvelle fenêtre sur l'éternité". (Outre cette référence, Freire mentionne d'autres ouvrages parus en France à l'époque, tels ceux de Gaston Moch ou de Lucien Fabre¹³²).

¹²⁹ Ramos [1923]. Voir plus haut.

¹³⁰ Dans la notice nécrologique qu'il consacra à Teodoro Ramos, disparu prématurément en 1935, Luiz Freire note qu'il était "plus analyste qu'Amoroso Costa, mais moins philosophe que ce dernier", et relève en particulier son indifférence, dans ses leçons sur la mécanique quantique, aux aspects des énoncés de cette dernière reliés à la philosophie de la connaissance : "il passait au large, presque indifférent", "ce qui le préoccupait, c'était l'aspect hautement mathématique de la question" (Freire [1935]).

¹³¹ Freire [1924]. Sur Luiz Freire, voir, en part., Leite Lopes [1984], Freire et Hamburger [1988].

¹³² Il est intéressant de noter que, parmi les nombreux ouvrages scientifiques de sa bibliothèque personnelle, Luiz Freire possédait *La physique depuis vingt ans* de Langevin (Langevin [1923]),

Freire insistait sur le fait que tous les faits expérimentaux s'accordent avec la théorie d'Einstein (ce qui est un des éléments de son caractère "raisonnable") et sur le caractère déductif de ses conclusions (autre indice en faveur de la raison). Il est assez facile, écrivait-il en substance, de présenter les conclusions des théories d'Einstein, tandis que, au contraire, il est impossible de vulgariser - en dépit de l'énorme littérature déjà existante de par le monde sur le sujet - l'analyse des prémisses, qui sont formulés à partir de la confrontation avec les faits scientifiques antérieurs et de la logique (du "mécanisme intime") de ces théories.

On remarquera la perspicacité du commentaire, qui souligne l'un des points sur lesquels Einstein devait insister sa vie durant, et qui concerne l'intuition physique et la liberté logique dans la formulation des principes ou propositions fondamentales d'une théorie physique¹³³. C'est, à n'en pas douter, cette conscience qui autorisa l'auteur à indiquer que depuis deux ans il étudiait ces théories et "méditait sur elles", soulignant qu'elles se satisfont mal du langage courant, et que l'analyse mathématique leur est "nécessaire et quasi-exclusive" (référence faite au calcul différentiel absolu de Ricci et Levi-Civita). On soulignera à cet égard l'objectivité - rare à l'époque - de sa conception des origines de la théorie de la relativité, en ce qui concerne les paternités respectives de Poincaré et d'Einstein : tout en adhérant au point de vue physique d'Einstein (qui était aussi celui de Langevin), Luiz Freire était pleinement conscient de la part importante prise par Poincaré dans l'élaboration et dans la formalisation de ces idées. La rapportant à la profonde intuition du savant, il écrivait: "On peut dire sans exagérer qu'il fut le prophète de la relativité einsteinienne"¹³⁴.

La présentation de la théorie de la relativité donnée par Luiz Freire est inhabituelle dans le contexte scientifique brésilien de l'époque: elle est faite dans l'esprit de la physique théorique, partagé par Einstein et par Langevin, et non pas dans celui de la physique mathématique, que privilégiaient volontiers la majorité des autres auteurs - tout en le faisant de manière atténuée, tels Roberto Marinho de Azevedo ou Manoel Amoroso Costa -, qui se situaient plutôt dans la mouvance des physico-mathématiciens français. Peut-être fut-il conduit à la lecture des textes de Langevin par son intérêt très vif pour les questions conceptuelles et philosophiques. On sait que Langevin avait eu, à cet égard, un rôle particulier, en développant devant les philosophes, lors du Congrès international de Bologne en 1911, la signification de l'espace-temps de la relativité restreinte et ses implications sur la causalité physique¹³⁵. Les articles de Langevin sur ce sujet

l'opuscule *Le principe de relativité* publié par Lémeray en 1916, l'*Introduction à la théorie d'Einstein* d'Ernest Vuillemin paru en 1922, ainsi que l'ouvrage publié par Jean Becquerel sur la théorie de la relativité en 1922, plusieurs livres de Th. de Donder, de nombreux ouvrages de Henri Poincaré, d'Emile Picard, de Jacques Hadamard et, le plus souvent en traductions françaises, de Levi-Civita, de Hermann Weyl, d'Arthur Eddington, et bien entendu, d'Einstein lui-même. A ces livres scientifiques s'ajoutent des ouvrages de philosophie physique et mathématique, dont plusieurs ont trait aux questions soulevées par la théorie de la relativité.

¹³³ Cf. Paty [1993], chapitre 9.

¹³⁴ Freire [1926b] (dans une note à propos du mathématicien allemand Félix Klein).

¹³⁵ Langevin [1911a et b].

avaient été publiés dans des revues et repris dans un ouvrage - *La physique depuis vingt ans*¹³⁶ - disponibles au Brésil, et dont Luiz Freire lui-même avait des exemplaires dans sa bibliothèque¹³⁷.

Nous concluerons sur cette variante des présentations de la théorie de la relativité qui montre, en tout état de cause, la diversité des voies permettant une authentique assimilation de la physique contemporaine, préparant son développement par la formation des nouvelles générations : ce qui ne devait pas manquer d'être le cas, dans les diverses filiations mentionnée¹³⁸.

BIBLIOGRAPHIE

ACADEMIA ARGENTINA [1929]. Academia nacional de ciencias exactas, físicas y naturales de Buenos Aires: recepción del doctor Alberto Einstein en la sesión especial de la Academia el día 16 de abril de 1925, *Anales de la sociedad científica argentina* CVII, 1929, 337-347.

ALENCAR, Oto de [1898]. Alguns erros de matemática na Synthese subjectiva de A. Comte, *Revista da Escola Polytechnica* (Rio de Janeiro) 2, 1898 (n°9-10), 113-130.

D'AMBROSIO, Ubiratão (ed.) [1989]. *Anais do segundo Congresso latino-americano de historia da ciências e da tecnologia, Sao Paulo, 30 de junho a 4 de julho de 1988*, Nova Stella, Sao Paulo, 1989.

ALVES, Jeronimo [1991]. A ciencia pura e a Academia Brasileira de Ciências, *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnologia*, 8, n° 1, 1991.

- [1994]. Teoria da relatividade no Brasil: Recepção e contexto, contribution au présent volume.

ANALES DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS 2, n° 2, junho 1930, 59-73. (Sur Henrique Morizé).

ARANTES, Paulo Eduardo [1988]. O positivismo no Brasil, *Novos Estudos*

¹³⁶ Langevin [1923]. Il est intéressant de noter - bien que ceci concerne l'Argentine, et non le Brésil -, que ce livre fit l'objet d'une traduction en espagnol, publiée à Buenos Aires peu après la mort de son auteur, en 1947, sous le titre *Introduccion a la relatividad*. Les traducteurs ne connaissaient probablement pas l'existence de l'autre ouvrage de Langevin, paru en 1922, *Le principe de relativité* (Langevin [1919]), avec lequel il ne faut pas le confondre (le choix du titre de la traduction est évidemment révélateur de l'intérêt persistant pour la théorie de la relativité).

¹³⁷ Voir plus haut, note 106.

¹³⁸ Voir, par exemple, Costa Ribeiro [1955], Bassalo [1991].

(CEBRAP, São Paulo), n° 21, junho de 1988, 185-194.

ARBOUSSE-BASTIDE, Paul [1956]. *Les disciples brésiliens d'Auguste Comte*, Deuxième thèse, non publiée, Paris, 1956.

ATAS MATEMATICA [1965]. *Atas do V Colóquio Brasileiro de Matemática*, São Paulo, 1965.

AZEVEDO, Fernando de [1947]. *A cultura brasileira*, 3 vols., Melhoramentos, São Paulo, 1947. 3a ed., 1958.

- (dir.) [1955]. *As ciências no Brasil*, 2 vols., Melhoramentos, São Paulo, 1955.

AZEVEDO, Roberto Marinho de [1920]. O principio de relatividade, Parte I, *Revista de Sciencias* (Rio) 4 (1), janv-feb. 1920, 12-24; *ibid.*, Parte II, 4 (2), março-abril 1920, 45-53.

- [1921]. A teoria da relatividade einsteiniana, *Revista Brasileira de Engenharia* 2 (1), julho de 1921, 1-5; repris dans *Revista do Brasil* (São Paulo) 18 (72), 1921, 289-304.

- [1926]. Resposta às objeções levantadas entre nós contra a Teoria da Relatividade, *Revista da Academia Brasileira de Ciências*, 1, abril de 1926, 13-17.

BARROUIN, Affonso [1925]. *A illusão de Einstein, ou A relatividade de Einstein e a relatividade de Galileu*, Jacinto Ribeiro dos Santos, Rio de Janeiro, 1925.

BASSALO, José-Maria Filardo [1991]. As raízes da física brasileira, *Ciência Hoje*, agosto de 1991, 45-51.

BOHR, Niels; KRAMERS, Hendrik Anton and SLATER, John Clarke [1924]. The quantum theory of radiation, *The Philosophical Magazine* 47, 1924, 785-822.

BOREL, Emile [1921]. Les hypothèses fondamentales de la physique et de la géométrie, *Compte-Rendus de l'Académie des sciences* (Paris), 173, 1921, 189. (Reproduit dans Borel [1922c]).

- [1922a]. Hypothèses physiques et hypothèses géométriques, *Compte-Rendus de l'Académie des sciences* (Paris), 174, 1922, 1050.

- [1922 b]. , *Compte-rendus de l'Académie des sciences* (Paris) 175, 1922, .

- [1922c]. *L'espace et le temps*, Alcan, Paris, 1922.

BOUASSE, Henri [1923]. *La question préalable contre la théorie d'Einstein*, Blanchard, Paris, 1923.

CAFFARELLI, Roberto Vergara [1979]. Einstein e o Brasil, *Ciencia e Cultura* 1979, 1435-1455.

CASTIÑEIRAS, Julio R. [1925]. La visita del Profesor Alberto Einstein, *Anales Sociedad Científica Argentina* 99, 1925, 1-12.

CIENCIA E CULTURA (São Paulo) [1979]. *Einstein, 1879-1979*, 31 (n° 12, dezembro), 1369-1457.

COMTE, Auguste [1856]. *Synthèse subjective ou système universel des conceptions propres à l'état normal de l'humanité*, 1856. T.1 : *Traité de philosophie mathématique*, Chez l'auteur, Paris, 1856.

COSTA, Manuel Amoroso [1919]. A teoria de Einstein, *O Jornal* (Rio de Janeiro)

1 (149), 12 de novembro de 1919. Repris dans Amoroso Costa [1981], p. 101-102.

- [1922a]. A margem da teoria de Einstein, I, *O Jornal* (Rio de Janeiro) 4 (971), 19 de março de 1922; *ibid.*, II, *ibid.*, 4 (983), 2 de abril de 1922. Repris dans Amoroso Costa [1981], p. 103-114.

- [1922b]. A teoria da relatividade: esboço histórico, *Revista Brasileira de Engenharia* 3 (5), maio de 1922, 181-183. Repris dans Amoroso Costa [1981], p. 115-119.

- [1922c]. *Introdução à teoria da relatividade*, Livraria Científica Brasileira, Rio de Janeiro, 1922.

- [1922d]. Bergson e a relatividade, *O Jornal* (Rio de Janeiro) 4 (1157), 22 de outubro de 1922. Repris dans Amoroso Costa [1981], p. 125-129.

- [1922e]. A proposito de uma nota do Sr Borel, Communication présentée à l'Academia Brasileira de Ciencias, le 20 octobre 1922.

- [1922f]. Emile Borel, *O Jornal* (Rio), n° 1119, 8 de setembro de 1922. Repris dans Amoroso Costa [1981], p. 120-124.

- [1929]. *As idéias fundamentais da matematica*, Pimenta de Mello, Rio de Janeiro, 1929. 3ème éd. augm., voir Amoroso Costa [1981], p. 169-330.

- [1981]. *As idéias fundamentais da matematica e outros ensaios*. Introdução de Arthur Gehhardt Santos, Lelio Gama e Antonio Paim, 3a ed., Convivio/EDUSP, São Paulo, 1981.

COSTA RIBEIRO, J. [1955]. A física no Brasil, in Azevedo [1955], vol. 1, p. 163-202.

CROMMELIN, A.C.D. [1919]. The eclipse expedition to Sobral, *The Observatory* 49, 1919 (n°, nov.), 368-371.

CRUZ COSTA, João [1967]. *Contribuição a história das ideias no Brasil*, São Paulo, 2a ed., 1967.

DELFINO GALLES, Carlos [1982]. La repercusion en la Argentina de las teorías relativísticas (1905-1925), in *Primeiras Jornadas de Historia del pensamiento científico argentino, Buenos-Aires 12-14 de julio 1982, Actas*, 1982, p. 114-122.

DYSON, Franck W. [1917]. On the opportunities afforded by the eclipse of 1919, may 28, of verifying Einstein's theory of gravitation, *The Observatory* 40, 1917 (n° 512, april), 153-157.

DYSON, F.W., EDDINGTON, A.S., CROMMELIN, A.C.D. [1919]. [Reports at the] Joint eclipse meeting of the Royal Society and the Royal Astronomical Society (1919, november 6, Sir Joseph Thomson in the chair), *The Observatory* 42, 1919 (n° 545, nov.), 389-398.

DYSON, F.W., EDDINGTON, A.S., DAVIDSON, C. [1920]. A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field from observations made at the total eclipse of may 29, 1919, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1920, 291-333.

EDDINGTON, Arthur Stanley [1918]. *Report on the Relativity theory of gravitation*, Fleetway Press, London, 1918; 2nd ed. augm., 1920.

- [1919]. The total eclipse of 1919, may 29, and the influence of gravitation on light, *The Observatory* 42, 1919 (n° 537, march), 119-122.

EINSTEIN, Albert [1905]. Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 891-921. Trad. fr. par Maurice Solovine, Sur l'électrodynamique des corps en mouvement, in Einstein [1972], p. 5-52.

- [1911]. Ueber den einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes, *Annalen der Physik*, ser. 4, 35, 1911, 898-908. Trad. angl. : On the influence of gravitation on the propagation of light, in Einstein, A., LORENTZ, Hendryk A., MINKOWSKI, Hermann, WEYL, Hermann, *The principle of relativity*, with notes by Arnold Sommerfeld, transl. by W. Perrett and G.B. Jeffery, Methuen, London, 1923 (éd. utilisée: Dover, New York, 1952), p. 97-108.

- [1915]. Die Feldgleichungen der Gravitation, *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, 1915, part 2, 844-847. [Les équations de champ de la gravitation].

- [1916]. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, *Annalen der Physik*, ser. 4, XLIX, 1916, 769-822. Edité également en opuscule, Barth, Leipzig, 1916. Trad. fr.: *Les fondements de la théorie de la relativité générale*, in Einstein [1933], p. 7-71.

- [1917]. Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, *Gemeinverständlich*, Vieweg, Braunschweig, 1917. Tr. fr. par Maurice Solovine, *La théorie de la relativité restreinte et générale*, Gauthier-Villars, Paris, 1921.

- [1921a]. Geometrie und Erfahrung, *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, 1921, part 1, 123-130. Trad. fr. par Maurice Solovine, La géométrie et l'expérience, in Einstein [1972], p. 75-91.

- [1921b]. Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, Vieweg, Braunschweig, 1922. [Conférences Stafford, données à l'Université de Princeton en mai 1921.] Trad. angl., par Edwin Plimpton Adams, *The Meaning of relativity : four lectures delivered at Princeton University*, Princeton University Press, Princeton (N.J.), 1922, sixième éd. augm., 1955, Chapman et al., London; ré-éd., 1973. Trad. fr. sur l'édition allemande de 1922 par Maurice Solovine, *Quatre conférences sur la théorie de la relativité faites à l'université de Princeton*, Gauthier-Villars, Paris, 1955.

-, LORENTZ, Hendryk Antoon, MINKOWSKI, Hermann, WEYL, Hermann [1922]. *Das relativitätsprinzip*, 4 ème éd., Teubner, Leipzig, 1922. Trad. angl. par W. Perrett and G.B. Jeffery, *The principle of relativity*, Methuen, London, 1923.

- et al. [1923]. La théorie de la relativité (avec Xavier Léon, Paul Langevin, Jacques Hadamard, Elie Cartan, Paul Painlevé, Paul Lévy, Jean Perrin, Jean Becquerel, Léon Brunschvicg, Edouard Le Roy, Henri Bergson, Emile Meyerson, Henri Piéron. Séance du 6 avril 1922), *Bulletin de la Société française de philosophie* XXVII, 1923, 91-113; repris dans *La Pensée*, n° 210, février 1980, 12-29.

- [1924]. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases, *Preussische Akademie der Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte* 22, 1924, 261-267. Trad. fr., Théorie quantique du gaz parfait monoatomique, in Einstein, A., *Oeuvres*

choisies, vol. 1: Mécanique statistique et physique quantique, Seuil/Ed. du CNRS, Paris, 1989.

- [1925a]. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. Zweite Abhandlung, *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte*, 1925, p. 3-14. Trad. fr., Théorie quantique du gaz parfait monoatomique. Deuxième mémoire, *Annales de la Fondation Louis de Broglie* 7, 1982, 129-145.

- [1925b]. Reisesgebach Südamerika (Argentinien, Uruguay, Brasilien), Marz, April, Mai 1925 [Journal de voyage en Amérique du Sud, Argentine, Uruguay, Brésil, mars, avril, mai 1925]. Manuscrit et transcription dactylographiée, archives Einstein.

- [1926a]. Geometria no euclidea y fisica, *Revista mathematica hispano-america* (Buenos-Aires), ser. 2, 1926, 72-76. [Communication à l'Académie des sciences de Buenos Aires, le 16 avril 1925. Trad. en espagnol.]

- [1926b]. Observações sobre a situação actual da theoria da luz, *Revista da Academia brasileira de ciencias*, n°1, 1926 (abril), p. 1-3 [Communication à l'Académie brésilienne des sciences, 7 mai 1925. Trad. en portugais, par Roberto Marinho, de l'original en allemand remis par Einstein]. [Reproduite, sans le titre, dans Freitas Mourão [1987], p. 97-100].

- [1933]. *Les fondements de la relativité générale*, trad. par Maurice Solovine, Hermann, Paris, 1933.

- [1972]. *Réflexions sur l'électrodynamique, l'éther, la géométrie et la relativité*, trad., nouvelle édition, Gauthier-Villars, Paris, 1972.

FERREIRA, Dulcidio [1930]. Prof. Henrique Morizé, *Revista Didática*, n° 36, dezembro de 1930, 3-8. [discurso proferido em Sessão da Academia Brasileira das Ciências, Rio, 29 de abril de 1930.]

FERRI, Mario G. e MOTOYAMA, Shozo [1979-1981]. *História das ciências no Brasil*, 3 vols., EDUSP/CNPq, São Paulo, 1979-1981.

FONSECA TELLES, F. E. da [1936]. Professor Theodoro Ramos, *Anuario da Escola Polytechnica*, São Paulo, 1936, p. 91-95.

FREIRE, Luiz de Barros [1924]. Um interessante aspecto da teoria da relatividade, *Boletim de Engenharia* (Recife), ano II, vol.I, n°1, dez. 1924, 6.

- [1924b]. As theorias d'Einstein, Conferencia feita no Gabinete Português de Leitura, no dia 30 de abril de 1924, Recife. [Manuscrit, Archives Luiz Freire].

- [1926a]. Contradita ao trabalho do fisico H. Bouasse : A questão prévia contra a teoria de Einstein, *Boletim de Engenharia* (Recife), ano 4, vol.1, n°1, fev. 1926, 8-9.

- [1926b]. Factos e commentarios, *Boletim de Engenharia* (Recife), ano 4, vol.2, n°2, 1926, 32-36.

- [1930]. Amoroso Costa, *Revista Brasileira de Matemática*, ano II, 1930, n° 1-4, 13-15.

- [1935]. Theodoro Ramos, *Diario de Pernambuco*, 8.12.1935. Repris dans le *Boletim de Engenharia* (Recife) 2, n° 3, março 1936, 87-90.

FREIRE DE MOTA E ALBUQUERQUE, Ivone et IMPERIO HAMBURGER, Amelia [1988]. Retratos de Luiz de Barros Freire como pioneiro da ciência no Brasil,

Ciencia e cultura (Sao Paulo), 40 (n°9, setembro), 1988, 875-881.

GALLES, Carlos Delfino [1982]. La repercusión en la Argentina de las teorías relativísticas (1905-1925), in *Primeiras Jornadas de historia del pensamiento científico argentino*, Buenos-Aires, 12-14 julio 1982, *Actas*, p. 114-122.

GALLONI, Ernesto E. [1976]. La visita de Einstein a la Argentina, *La Prensa*, 4-1-1976.

GAMA, Lelio [1929]. A obra de Amoroso Costa, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, mars 1929, 28-38. Repris dans Amoroso Costa [1929], éd.1981, p. 27-37.

- [1965]. *Áta Matemática*, 1965.

GLICK, Thomas (ed.) [1987]. *The comparative reception of relativity*, Reidel, Dordrecht, 1987.

LAFITTE, Pierre [1875]. *Calcul arithmétique. Cours professé par M. Pierre Lafitte suivant le plan tracé par Auguste Comte dans sa Synthèse Subjective (Année 1875)*. Leçons rédigées par M. Ch. Jeannolle. Enseignement positiviste, Rio de Janeiro, 1880.

LANGEVIN, Luce [1972]. Paul Langevin et Albert Einstein d'après une correspondance et des documents inédits, *La Pensée*, n° 161, janvier-février 1972, 3-40.

LANGEVIN, Paul [1911a]. L'évolution de l'espace et du temps, *Scientia* (Bologna), 10, 1911, 31-54. Repris dans Langevin [1923], p. 265-300.

- [1911b]. Le temps, l'espace et la causalité dans la physique moderne, *Bulletin de la Société française de philosophie* 12, 1911, 1-46. Repris dans Langevin [1923], p. 301-344.

- [1919]. *Le principe de relativité* (Conférence à la Société des électriciens, décembre 1919), Chiron, Paris, 1922.

- [1920]. Les aspects successifs du principe de relativité, *Bulletin de la Société Française de Physique*, 138, 1920, 5 et suiv.

- [1923]. *La physique depuis vingt ans*, Doin, Paris, 1923.

- [1947]. *Introducción a la relatividad*, Trad. en español, par Eduardo Warshaver, de *La physique depuis vingt ans*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1947.

LECORNU, Léon [1922]. Quelques remarques sur la relativité, *Compte-rendus de l'Académie des sciences* (Paris), 174, 1922, 337-342.

LEITE LOPES, José [1984]. Luiz Freire e os postulados superiores da vida do espírito, *Ciencia e Sociedade*, CBPF-CS-006-84 (CBPF, Rio de Janeiro).

LINS, Ivan [1967]. *Historia do positivismo no Brasil*, 2^{da} edição, rev., augm., Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1967.

MEYERSON, Emile [1925]. *La déduction relativiste*, Payot, Paris, 1925.

MORAIS, Abraão de [1955]. A astronomia no Brasil, in Azevedo [1955], vol. 1, p.81-161.

MOREIRA, Ildeu [1990]. Bibliografia brasileira sobre a teoria da relatividade (até

1935), Appendice à : Amoroso Costa e a introdução da relatividade no Brasil (notes d'une conférence).

MORIZE, Henrique [1920]. Resultados obtidos pela Comissão Brasileira do Eclipse de 29 de maio de 1919, *Revista de Ciencias* (Rio de Janeiro) 4 (3), 65, maio-junho 1920, 65 sq.

- [1927]. *Observatorio astronomico. Um seculo de historia (1827-1927)*. [Inédit jusqu'en 1987], Museu de Astronomia e ciencias afins, CNPq, Rio de Janeiro, 1987.

MOURÃO, Rogerio Freitas [1987]. *Explicando a teoria da relatividade, com apendice sobre a visita de Einstein ao Brasil*, Ediouro, Tecnoprint, Rio de Janeiro, 1987. [Appendices: 1- A introdução da teoria da relatividade no Brasil, p. 73-76. 2- O eclipse de Sobral, primeira confirmação da relatividade geral, p. 77-86. 3- Einstein no Brasil, p. 87-116.]

OLIVEIRA CASTRO, F.M. de [1955]. A matemática no Brasil, in Azevedo [1955], vol. 1, p. 41-77.

ORTIZ, Eduardo [1983]. Rey Pastor y la matematica en la España y la America Española, *Mundo científico-La Recherche* (Madrid), 30, 1983, 1134-1137.

PAINLEVE, Paul [1922]. La théorie classique et la théorie einsteinienne de la gravitation, *Compte-rendus de l'Académie des sciences* (Paris), 174, 1922, 1137-1143.

- [1923]. *Revista Brasileira de Engenharia* (Rio), 3 (5), 1923.

PARVAUX, Solange et REVEL-MOUROZ, Jean (dirs.) [1991]. *Images réciproques du Brésil et de la France. Imagens reciprocas do Brasil e da França. Actes du Colloque organisé dans le cadre du projet France-Brésil. Atas do Colóquio organizado no quadro do projeto França-Brasil* (Paris, 3-5.12.1987), IHEAL (Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine), Paris, 1991, 2 vols.

PATY, Michel [1980]. Einstein et la philosophie en France : à propos du séjour de 1922, *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 35, nlle série, janvier 1980, 9-12 ; également : *La Pensée*, n° 210, février 1980, 3-11.

- [1985]. Invention et réception d'une nouvelle théorie et tradition scientifique: le cas de la relativité restreinte et des savants français Poincaré et Langevin, *Revista da Sociedade Brasileira de Historia da Ciencia*, n° 2, jul.-dez. 1985, 6-20.

- [1987]. The scientific reception of relativity in France, in Glick 1987, p. 113-167.

- [1989]. Sur l'histoire et la philosophie de la découverte scientifique: champs de rationalité, styles scientifiques, traditions et influences, in d'Ambrosio [1989], p. 26-40. Repris dans Paty [1990], chap. 4, p. 59-80.

- [1990]. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, L'Harmattan, Paris, 1990, 222p.

- [1991]. Exemple d'influence scientifique et culturelle: les voies spécifiques de la physique mathématique - Exemplo de influência científica et cultural: as vias específicas da física matemática, in Parvaux et Revel-Mouroz [1991], vol. 2, p. 811-826.

- [1992a]. Les débuts de la physique mathématique et théorique au Brésil et l'influence de la tradition française, *in* Petitjean, Jami, Moulin [1992], p. 173-191.
- [1992b]. L'histoire des sciences en Amérique latine, *La Pensée*, n° 288-289, 1992, 21-45.
- [1992c] Physical Geometry and Special Relativity: Einstein and Poincaré, *in* Boi, Luciano; Flament, Dominique et Salanski, Jean-Michel (eds.), *1830-1930 : A century of geometry. Epistemology, history and mathematics*, Springer-Verlag, Berlin, 1992, p. 126-149.
- [1993]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.
- [à paraître, a]. *Einstein, les quanta et le réel*, à paraître.
- [à paraître, b]. Poincaré et le principe de relativité, à paraître (*Actes du Congrès international Henri Poincaré, Nancy, mai 1994*).
- [en prép., a]. La physique mathématique en Argentine et au Brésil au début du vingtième siècle, en préparation.
- [en prép., b]. Le pouvoir heuristique du formalisme mathématique: Einstein et l'espace-temps de Minkowski dans la construction de la Relativité générale, *in* *L'application des mathématiques. Travaux de l'équipe REHSEIS*, Paris, en préparation.
- PAULINYI, Erno I. [1981]. *Esboço histórico da Academia Brasileira de Ciências*, CNPq/Brasiliense, 1981. 42 p.
- PEREIRA, Dulcideo [1930]. Prof. Henrique Morizé, *Revista Didática*, n° 36, dezembro 1930, 3-8.
- PETITJEAN, Patrick [1988]. Le Groupement des Universités et Grandes Ecoles de France pour les relations avec l'Amérique latine et la créations d'Instituts à Rio de Janeiro, São Paulo et Buenos-Aires, *in* d'Ambrosio [1989], p. 443-448.
- [1991]. Autour de la Mission française pour la création de l'Université de São Paulo (1934), *in* Petitjean, Jami, Moulin [1992], p. 339-362.
- ; JAMI, Catherine and MOULIN, Anne-Marie (eds.) [1992]. *Science and Empire, historical studies about scientific development and european expansion*, Kluwer, Dordrecht, 1992.
- PICARD, Emile [1922]. La théorie de la relativité et ses applications à l'astronomie, *Annuaire du Bureau des longitudes*, Paris, 1922, B1-29.
- [s.d.]. *A sciencia moderna e seu estado actual* (2a ed., sans nom de traducteur ni date), Bibliotheca de filosofia scientifica, Librairies Aillaud, Alves et Bertrand, Paris et Lisbonne, et Francisco Alves, Rio, São Paulo et Bello Horizonte.
- POINCARÉ, Henri [1905a]. Sur la dynamique de l'électron, *Compte-rendus des séances de l'Académie des sciences* 140, 1905, p. 1504-1508.
- [1905b]. Sur la dynamique de l'électron [reçu le 23 juillet 1905]), *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo* XXI, 1906, p. 129-176.
- RACHE, Pedro Demosthenes [1932]. *A Relatividade e sua aplicação ao estudo dos fenômenos físicos, precedida dos elementos indispensáveis de matemática*, Imprensa Official de Minas Geraes, Bello Horizonte, 1932.

- RAMOS, Teodoro [1923]. A teoria da relatividade e as raias espectrais do hidrogênio, *Revista Politecnica* (São Paulo), 1923 (Note communiquée à l'Academia Brasileira de Ciencias par Amoroso Costa le 25 août 1923); repris dans *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1, n°1, março de 1929, 20-27.
- [1929]. Amoroso Costa, *Boletim do Instituto de Engenharia de São Paulo*, 1929 (feb.) ; repris in Ramos 1933, p. 15-25.
- [1933]. *Estudos (Ensino, Ciencias físicas e mathematicas)*, Escolas profissionais do Liceu Coração de Jesus, Rio de Janeiro, 1933.
- SANTALO, Luis A. [1972]. *Evolucion de las ciencias en la Republica Argentina, 1923-1972*, tomo 1, *Matematica*, 1972. Sociedad Científica Argentina, Buenos Aires, 1972.
- SANTOS, Artur Gehrardt [1981]. Apontamentos para a biografia de Amoroso Costa, in Amoroso Costa [1929] éd. 1981, p. 13-25.
- SANTOS REIS, Felipe dos 1949. M. Amoroso Costa. A vida e a obra do Mestre, *Revista do Clube de Engenharia* (Rio de Janeiro), n° 157, setembro de 1949, 301-304.
- SCHLICK, Moritz [1917]. *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zu Einführung in das Verständnis der Allgemeinen Relativitätstheorie*, Berlin, 1917. Trad. en espagnol sur la 3ème éd. all. (de 1920) par Manuel G. Morente, *Espacio y tiempo en la fisica actual*, Calpe, Madrid, 1921.
- TROMPOWSKI LEITÃO DE ALMEIDA, Carlos Roberto [1903]. *Lições de Geometria algebrica*, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1903.
- WESTERKAMPF, Federico [1975]. *Evolucion de las ciencias en la Republica Argentina, 1923-1972*, tomo 2 : *Fisica*, Sociedad Científica Argentina, Buenos Aires, 1975.